



TUGAS AKHIR - MO 091336

**ANALISIS KEANDALAN STABILITAS HIDROLIK  
DARI LAPISAN PELINDUNG UTAMA STRUKTUR  
*BREAKWATER RUBBLE MOUND*: STUDI KASUS  
*BREAKWATER* PLTU SUDIMORO, PACITAN**

**MUARIFF AGUSTIAN**

**NRP. 04311440000050**

**Dosen Pembimbing**

**Haryo D. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**





**TUGAS AKHIR - MO 091336**

**ANALISIS KEANDALAN STABILITAS HIDROLIK  
PADA LAPISAN PELINDUNG UTAMA STRUKTUR  
*BREAKWATER RUBBLE MOUND*: STUDI KASUS  
*BREAKWATER* PLTU SUDIMORO, PACITAN**

**MUARIFF AGUSTIAN**

**NRP. 04311440000050**

**Dosen Pembimbing**

**Haryo D. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS KEANDALAN STABILITAS HIDROLIK PADA LAPISAN PELINDUNG UTAMA STRUKTUR *BREKWATER RUBBLE MOUND*: STUDI KASUS *BREAKWATER* PLTU SUDIMORO, PACITAN

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut  
Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Muariff Agustian

NRP. 04311440000050

Disetujui oleh:

1. Haryo D. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D (Pembimbing 1)  
.....
2. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D (Pembimbing 2)  
.....
3. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 1)  
.....
4. Sholihin, S.T., M.T. (Penguji 2)  
.....
5. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. (Penguji 3)  
.....

Surabaya, Juli 2018

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ANALISIS KEANDALAN STABILITAS HIDROLIK PADA LAPISAN PELINDUNG UTAMA STRUKTUR *BREKWATER RUBBLE MOUND*: STUDI KASUS *BREAKWATER* PLTU SUDIMORO, PACITAN**

**Nama Mahasiswa** : Muariff Agustian  
**NRP** : 04311440000050  
**Departemen** : Teknik Kelautan FTK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Haryo D. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

## **ABSTRAK**

Dalam perancangan struktur pemecah gelombang, dikenal istilah perancangan secara konvensional. Perancangan secara konvensional adalah perancangan yang didasarkan pada konsep beban desain tidak boleh melebihi daya tahan (*carrying capacity*) struktur. Beban desain biasanya didefinisikan secara probabilistik sebagai nilai karakteristik dari beban, misalnya nilai rata-rata (*mean*) dari periode ulang gelombang 100 tahun. Pemilihan beban gelombang ini sering dilakukan tanpa ada pertimbangan adanya ketidakpastian (*uncertainty*) yang terjadi. Dalam kebanyakan kasus, beban yang menyebabkan dampak atau kerusakan desain tertentu tidak diberikan sebagai kekuatan atau deformasi utama. Hal ini karena sebagian besar formula desain yang tersedia hanya memberi hubungan antara karakteristik gelombang dan beberapa respons struktural, seperti *run up*, limpasan (*overtopping*), kerusakan lapisan pelindung (*armour layer*), dan lain-lain. Tugas akhir ini mengevaluasi keadaan pemecah gelombang PLTU Sudimoro berdasar kriteria desain stabilitas hidrolik minimal serta menganalisis keandalan struktur tersebut dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo. Hasil yang didapatkan adalah bangunan pemecah gelombang yang ada di PLTU Pacitan sudah memenuhi kriteria desain stabilitas hidrolik serta memiliki nilai keandalan yang sangat tinggi yaitu 98.14%. Untuk desain I (dolos), desain II (tetrapod) dan desain III (BPPT-Loc) masing-masing memiliki nilai keandalan sebesar 97.12%, 97.03%, dan 97.05%.

**Kata Kunci** : perancangan konvensional , stabilitas hidrolik, keandalan, Simulasi Monte Carlo

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **RELIABILITY ANALYSIS OF HYDRAULIC STABILITY ON MAIN ARMOUR LAYER OF BREAKWATER RUBBLE MOUND: CASE STUDY BREAKWATER STEAM POWER PLANT OF SUDIMORO, PACITAN**

**Name** : Muariff Agustian  
**NRP** : 04311440000050  
**Department** : Ocean Engineering FTK-ITS  
**Supervisors** : Haryo D. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

## **ABSTRACT**

In the design of the breakwater structures, the conventional design terms are known. Conventional design is a design based on the concept of design load that should not exceed the carrying capacity of the structure. Design loads are usually defined probabilistically as the characteristic value of the load, for example the mean value of the 100-year wave return period. Selection of this wave load is often done without any consideration of the uncertainty that occurred. In most cases, loads that cause the impact or damage of a design are not given as major forces or deformations. This is because most of the available design formulas only relate the wave characteristics and some structural responses, such as run up, overtopping, armor layer damage, and others. This thesis evaluates the state of the Sudimoro steam power plant's breakwater based on the minimum hydraulic stability design criteria as well as analyzing the reliability of the structure by using Monte Carlo simulation method. The results obtained are the existing breakwater at Sudimoro already meet the design criteria of hydraulic stability and has a very high reliability value of 98.14%. Design I (dolos), design II (tetrapod) and design III (BPPT-Loc) each have reliability value of 97.13%, 97.03%, and 97.05%.

**Keywords:** conventional design, hydraulic stability, reliability, Monte Carlo Simulation

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah memberikan rahmat, karunia serta kesempatan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini berjudul “ANALISIS KEANDALAN STABILITAS HIDROLIK PADA LAPISAN PELINDUNG UTAMA STRUKTUR *BREKWATER RUBBLE MOUND*: STUDI KASUS *BREAKWATER* PLTU SUDIMORO, PACITAN”. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini terdapat kemungkinan terjadi kesalahan dan kekurangan, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca semua. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu dan teknologi dalam bidang kelautan, serta bagi para pembaca dan terutama bagi penulis sendiri.

Surabaya, 2018

Muariff Agustian

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pengerjaan tugas akhir ini dapat penulis selesaikan karena dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan kesempatan, kekuatan, ilmu dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Orang tua penulis, yaitu Zaidan Muhammad dan Rahmah Umar yang selalu mendoakan dan selalu memberikan dukungan moril dan materi serta selalu motivasi penulis agar bersabar dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Kakak-kakak, abang-abang serta adik penulis, Sri Mayasanti, Martha Arbayani, Freddy Setiawan, Merry Fitriana, Thariq Miswary dan Humaira Durunnafis, yang selalu memberikan dukungan dan saran selama penulis berkuliah.
4. Bapak Haryo D. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing I penulis yang telah memberikan saran dan data-data untuk Tugas Akhir penulis dan telah membimbing penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dan mengajari penulis dengan sabar hingga Tugas Akhir ini terselesaikan.
6. Sahabat sekaligus teman sekamar penulis, Muhammad Rifqi Aufar yang telah menjadi sahabat baik, teman curhat dan teman seperjuangan penulis yang selalu siap direpotkan serta selalu memberikan dukungan dan kekuatan bagi penulis dalam masa perkuliahan.
7. Sahabat penulis, Farhan Ramadhana, Zainal Muttaqin, Safira Salwa, dan Witri Najwa yang selalu menjadi tempat berbagi penulis saat penulis merasa sedih dan selalu membangkitkan semangat penulis untuk menyelesaikan masalah.
8. Nur Kholifah dan Abdul Malik Al Fatah yang telah menjadi teman terdekat semenjak awal penulis memulai perkuliahan yang selalu ada siap membantu serta telah menjadikan hari-hari perkuliahan penulis menjadi lebih berharga dan menyenangkan.
9. “*Anak Geng*”, Ananda Ricky, Tria Ayu Lestari, Aisyah Juliawulan, Zainal Muttaqin dan Muhammad Rifqi Aufar yang menjadi teman terbaik bagi penulis selama menjadi mahasiswa.

10. Nabila Annisaa Arwis, Muhammad Adi Kurniawan, Sela Ferdiananta ‘Ayun dan Niken Setyani yang merupakan teman seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang selalu berbagi suka dan duka.
11. Teman-teman “Yang Tertinggal” Laura Karennina Padaga, Ester Arinamy Haloho, Dwi Lestari, Nabila Annisaa Arwis, Muhammad Adi Kurniawan dan Niken Saraswati yang selalu memberikan bantuan dan dukungan moril serta selalu memberikan info-info terkini.
12. Ahmad Renaldi Jurais dan Mas Fahrizal yang telah mengajari penulis cara mengoperasikan *software* SMS yang sangat dibutuhkan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini
13. Fadhlul Rahim yang telah mengajari penulis ilmu-ilmu statistika yang sangat penulis butuhkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Teman-teman seperantauan asal Aceh angkatan 2014 yang telah menjadi keluarga bagi penulis selama di Surabaya.
15. Teman-teman “Maelstrom” yang telah sama-sama menjalani kerasnya kehidupan perkuliahan.
16. Serta pihak-pihak lain yang tidak mungkin penulis sebut satu-persatu.

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | iii  |
| ABSTRAK .....  | v    |
| ABSTRACT .....   | vii  |
| KATA PENGANTAR.....  | ix   |
| UCAPAN TERIMA KASIH .....  | xi   |
| DAFTAR ISI .....   | xiii |
| DAFTAR GAMBAR.....   | xv   |
| DAFTAR TABEL .....   | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN .....  | 1    |
| 1.1    LATAR BELAKANG .....  | 1    |
| 1.2    RUMUSAN MASALAH.....  | 3    |
| 1.3    TUJUAN.....   | 3    |
| 1.4    MANFAAT PENELITIAN .....  | 3    |
| 1.5    BATASAN MASALAH.....  | 3    |
| 1.6    SISTEMATIKA PENULISAN.....  | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....                                | 5    |
| 2.1    TINJAUAN PUSTAKA .....  | 5    |
| 2.2    DASAR TEORI .....   | 6    |
| 2.2.1    Analisis Data Lingkungan .....                                      | 6    |
| 2.2.2    Perkiraan Gelombang dengan Periode Ulang (Analisis Frekuensi) ..... | 7    |
| 2.2.3    Desain Struktur Pemecah Gelombang .....                             | 10   |
| 2.2.4    Keandalan .....   | 18   |
| 2.2.5    Distribusi Frekuensi.....   | 18   |
| 2.2.6    Ukuran Pemusatan.....   | 20   |
| 2.2.7    Fungsi Distribusi Probabilitas .....                                | 22   |
| 2.2.8    Mode Kegagalan dan Fungsi Kegagalan.....                            | 24   |
| 2.2.9    Metode Simulasi Monte Carlo.....                                    | 30   |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....  | 31   |
| 3.1    DIAGRAM ALIR .....  | 31   |

|                                      |  |    |
|--------------------------------------|--|----|
| 3.2                                  | PENJELASAN DIAGRAM ALIR .....                                      | 32 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN ..... |  | 37 |
| 4.1                                  | DATA .....   | 37 |
| 4.1.1                                | Lokasi Penelitian .....  | 37 |
| 4.1.2                                | Data Lingkungan .....  | 38 |
| 4.2                                  | ANALISIS DATA LINGKUNGAN .....                                     | 41 |
| 4.2.1                                | Penentuan Distribusi Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan ..... | 41 |
| 4.2.2                                | Perhitungan Periode Ulang Gelombang .....                          | 43 |
| 4.2.3                                | Transformasi Gelombang .....                                       | 44 |
| 4.3                                  | DESAIN STRUKTUR PEMECAH GELOMBANG .....                            | 49 |
| 4.3.1                                | Elevasi Pemecah Gelombang .....                                    | 49 |
| 4.3.2                                | Berat Batu Pelindung .....   | 50 |
| 4.3.3                                | Lebar Puncak Pemecah Gelombang .....                               | 51 |
| 4.3.4                                | Lebar Kaki Pelindung Pemecah Gelombang .....                       | 51 |
| 4.3.5                                | Tebal Lapisan .....  | 51 |
| 4.3.6                                | Perbandingan Desain .....  | 52 |
| 4.4                                  | SIMULASI MONTE CARLO .....   | 56 |
| 4.4.1                                | Penentuan Fungsi Kegagalan .....                                   | 56 |
| 4.4.2                                | Penentuan Fungsi Transformasi .....                                | 57 |
| 4.4.3                                | Pembangkitan Bilangan Acak .....                                   | 66 |
| 4.4.4                                | Analisis Keandalan .....   | 68 |
| BAB V PENUTUP .....                  |  | 77 |
| 5.1                                  | KESIMPULAN .....   | 77 |
| 5.2                                  | SARAN .....  | 77 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                 |  | 79 |
| LAMPIRAN                             |  |    |
| BIODATA PENULIS                      |  |    |



## DAFTAR GAMBAR

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Gambar 1.1   | Pemecah Gelombang Sisi Miring, Fujairah Breakwater.....                                   | 1  |
| Gambar 2.1   | Grafik Pasang Surut .....   | 6  |
| Gambar 2.2   | Contoh Grafik <i>Gumbel Reduced Value</i> .....   | 8  |
| Gambar 2.3   | Contoh Grafik <i>Weibull Reduced Value</i> .....  | 9  |
| Gambar 2.4   | <i>Breakwater</i> sisi miring dengan serangan gelombang pada satu sisi .....              | 12 |
| Gambar 2.5   | <i>Breakwater</i> sisi miring dengan serangan gelombang pada kedua sisi.....              | 13 |
| Gambar 2.6   | Run Up gelombang .....  | 15 |
| Gambar 2.7   | Grafik Run Up gelombang.....  | 16 |
| Gambar 2.8   | Angka stabilitas $N_s$ untuk pondasi dan pelindung kaki.....                              | 17 |
| Gambar 2.9   | Penyajian data distribusi diskrit .....   | 23 |
| Gambar 2.10  | Kegagalan yang mungkin terjadi pada pemecah gelombang.....                                | 25 |
| Gambar 2.11  | Ketidakstabilan lapisan pelindung utama .....   | 25 |
| Gambar 2.12  | Erosi pada sisi belakang puncak pemecah gelombang .....                                   | 26 |
| Gambar 2.13  | Ketidakstabilan hidrolik pada sisi curam .....  | 26 |
| Gambar 2.14  | Unit pelindung rusak / pecah .....  | 27 |
| Gambar 2.15  | Kegagalan akibat kerusakan unit pelindung .....   | 27 |
| Gambar 2.16  | Erosi pada sisi belakang akibat overtopping.....  | 28 |
| Gambar 2.17  | Kegagalan pelindung utama akibat erosi pada kaki struktur .....                           | 28 |
| Gambar 3.1   | Diagram alir pengerjaan tugas akhir .....   | 31 |
| Gambar 3.2   | Diagram alir pengerjaan simulasi Monte Carlo .....  | 33 |
| Gambar 4.1   | Lokasi Studi Penelitian .....   | 37 |
| Gambar 4.2   | Diagram Mawar angin 2005 – 2009 dan 2012 – 2016.....                                      | 38 |
| Gambar 4.3   | Batimetri , Pacitan Jawa Timur.....   | 41 |
| Gambar 4.4   | Distribusi Gumbel untuk set data Tinggi Gelombang Signifikan terurut ....                 | 42 |
| Gambar 4.5   | Distribusi Weibull ( $\alpha = 1$ ) untuk set data terurut .....                          | 43 |
| Gambar 4.6   | Scatter model .....   | 44 |
| Gambar 4.7   | Hasil <i>meshing</i> model (a) bentuk <i>meshing</i> (b) <i>meshing modul depth</i> ..... | 45 |
| Gambar 4.8.  | Hasil permodelan tinggi gelombang dari arah selatan.....                                  | 46 |
| Gambar 4.9.  | Hasil permodelan tinggi gelombang dari arah Tenggara.....                                 | 47 |
| Gambar 4.10. | Hasil permodelan tinggi gelombang dari arah Barat Daya.....                               | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.11. Desain Penampang Pemecah Gelombang(a) Desain I Penulis (b) Desain Rancangan (c) Desain II Penulis (d) Desain III Penulis ..... | 55 |
| Gambar 4.12. <i>Surface Plot</i> 45° dengan keluaran (a) $H_a$ (b) $H_a$ (c) $H_a$ .....  | 59 |
| Gambar 4.13. <i>Surface Plot</i> 90° dengan keluaran (a) $H_a$ (b) $H_a$ (c) $H_a$ .....  | 62 |
| Gambar 4.14. <i>Surface Plot</i> 135° dengan keluaran (a) $H_a$ (b) $H_a$ (c) $H_a$ .....   | 65 |
| Gambar 4.15 Perbandingan $P_s$ dengan $N$ (a) pengulangan 500 (b) pengulangan 2000 (c) pengulangan 4000.....                                | 69 |
| Gambar 4.16. Perbandingan $P_s$ dengan $N$ untuk Desain Rencana .....   | 70 |
| Gambar 4.17. Perbandingan $P_s$ dengan $N$ untuk Desain I Penulis.....  | 72 |
| Gambar 4.18. Perbandingan $P_s$ dengan $N$ untuk Desain II Penulis .....  | 73 |
| Gambar 4.19. Perbandingan $P_s$ dengan $N$ untuk Desain III Penulis .....   | 75 |

## DAFTAR TABEL

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabel 2.1   | Koefisien stabilitas $K_D$ untuk berbagai jenis butir.....            | 11 |
| Tabel 2.2   | Koefisien Lapis .....   | 14 |
| Tabel 4.1   | Dimensi Struktur Pemecah Gelombang.....                               | 38 |
| Tabel 4.2   | Tinggi Gelombang Signifikan Maksimal Tiap Bulan .....                 | 39 |
| Tabel 4.3   | Periode Gelombang Signifikan Maksimal Bulanan .....                   | 39 |
| Tabel 4.4   | Komponen Konstanta Pasang Surut di Pantai Ngobyok .....               | 40 |
| Tabel 4.5   | Tinggi elevasi permukaan laut akibat pasang surut.....                | 40 |
| Tabel 4.6   | Konstanta bias masing-masing distribusi .....                         | 42 |
| Tabel 4.7   | Hasil Perhitungan Gelombang Periode Ulang dengan Metode Weibull ..... | 44 |
| Tabel 4.8.  | <i>Input parameter</i> pada CGWave (arah datang Selatan).....         | 46 |
| Tabel 4.9.  | Tinggi Gelombang Akibat Transformasi (arah datang Selatan).....       | 47 |
| Tabel 4.10. | <i>Input parameter</i> pada CGWave (arah datang Tenggara) .....       | 47 |
| Tabel 4.11. | Tinggi Gelombang Akibat Transformasi (arah datang Tenggara) .....     | 48 |
| Tabel 4.12. | <i>Input parameter</i> pada CGWave (arah datang Barat Daya) .....     | 48 |
| Tabel 4.13. | Tinggi Gelombang Akibat Transformasi (arah datang Barat Daya) .....   | 49 |
| Tabel 4.14. | <i>Run Up</i> dan Elevasi Pemecah Gelombang .....                     | 50 |
| Tabel 4.15. | Perhitungan berat unit pelindung utama.....                           | 50 |
| Tabel 4.16. | Perhitungan Berat Batu Pelindung .....                                | 51 |
| Tabel 4.17. | Perhitungan Lebar Puncak Pemecah Gelombang .....                      | 51 |
| Tabel 4.18. | Perhitungan lebar kaki pelindung .....                                | 51 |
| Tabel 4.19. | Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Pemecah Gelombang Dolos.....          | 52 |
| Tabel 4.20. | Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Pemecah Gelombang BPPT-Lock .....     | 52 |
| Tabel 4.21. | Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Pemecah Gelombang Tetrapod .....      | 52 |
| Tabel 4.22  | Perbandingan desain rencana dan desain I .....                        | 52 |
| Tabel 4.23  | Perbandingan desain I, II dan III .....                               | 53 |
| Tabel 4.24. | First Order Model arah Barat Daya ( $45^\circ$ ).....                 | 57 |
| Tabel 4.25. | Pengecekan Persamaan Regresi Arah Barat Daya .....                    | 60 |
| Tabel 4.26. | First Order Model arah Selatan ( $90^\circ$ ) .....                   | 60 |
| Tabel 4.27. | Pengecekan Persamaan Regresi Arah Selatan.....                        | 63 |
| Tabel 4.28. | First Order Model arah Tenggara ( $135^\circ$ ).....                  | 63 |
| Tabel 4.29. | Pengecekan Persamaan Regresi Arah Tenggara .....                      | 66 |

|  |    |
|--|----|
| Tabel 4.30. Pembangkitan Bilangan Acak .....                                   | 67 |
| Tabel 4.31. Penentuan tinggi gelombang desain dengan fungsi transformasi ..... | 68 |
| Tabel 4.32. Peluang sukses desain rencana.....                                 | 70 |
| Tabel 4.33. Peluang Sukses Desain I Penulis.....                               | 71 |
| Tabel 4.34. Peluang Sukses Desain II Penulis .....                             | 73 |
| Tabel 4.35. Peluang Sukses Desain III Penulis .....                            | 74 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Negara kepulauan Indonesia merupakan daerah yang kebanyakan tumbuh dan berkembangnya dimulai dari pesisir. Pesisir merupakan wilayah yang rentan terhadap kerusakan akibat gelombang (Diposaptono, 2001). Energi gelombang tinggi yang mencapai daerah pesisir dapat mengakibatkan erosi, terutama jika pesisir tersebut tidak mempunyai mekanisme pertahanan alami (Triadmojo, 1999)

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (PU), dari 95.181 *km* garis pantai yang dimiliki Indonesia, sebanyak 20 persen mengalami kerusakan akibat berbagai masalah, diantaranya perubahan lingkungan dan erosi pantai. Sistem perlindungan pantai yang sering digunakan adalah dengan pembuatan pemecah gelombang (*breakwater*). Pemecah gelombang tipe sisi miring umumnya terbuat dari tumpukan batu alam (*rubble mound*) yang bagian luarnya diberi *armor* atau lapis pelindung yang berfungsi menahan serangan gelombang. Pelindung terbuat dari batu-batu ukuran besar dengan berat mencapai beberapa ton, atau menggunakan batu buatan seperti tetrapod, quadripod, tribar, hexapod, dolos, A-jack dan lain sebagainya (Rohani, Thaha, dan Paotonan, 2012).



Gambar 1.1 Pemecah Gelombang Sisi Miring, Fujairah Breakwater  
(Sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

Dalam perancangan struktur pemecah gelombang, dikenal istilah perancangan secara konvensional. Perancangan secara konvensional ini adalah perancangan yang didasarkan pada konsep beban desain tidak boleh melebihi daya tahan (*carrying capacity*) struktur. Beban desain biasanya didefinisikan secara probabilistik sebagai nilai karakteristik dari beban, misalnya nilai rata-rata (*mean*) dari periode ulang gelombang 100 tahun. Pemilihan beban gelombang ini sering dilakukan tanpa ada pertimbangan adanya ketidakpastian (*uncertainty*) yang terjadi. Dalam kebanyakan kasus, hambatan didefinisikan dalam kaitan dengan beban yang menyebabkan dampak atau kerusakan desain tertentu, dan tidak diberikan sebagai kekuatan atau deformasi utama. Hal ini karena sebagian besar formula desain yang tersedia hanya memberi hubungan antara karakteristik gelombang dan beberapa respons struktural, seperti *run up*, limpasan (*overtopping*), kerusakan lapisan pelindung (*armour layer*), dan lain-lain (Burchart, 1994).

Penilaian risiko berbasis keandalan pada struktur pantai biasanya berdasarkan pada metode probabilistik, di mana ketidakpastian *stochastic* beban terlibat dan variabel kekuatan diperhitungkan dengan mempertimbangkan variabel-variabel tersebut sebagai variabel acak (Koc dan Balas, 2012). Keuntungan terbesar penerapan metode probabilistik atau yang dewasa ini biasa disebut sebagai Analisa keandalan dan risiko (*risk & reliability analysis*), adalah perancang akan dapat menghasilkan suatu sistem rekayasa yang lebih efisien dan juga memenuhi kualitas standar yang diharapkan. (Djarmiko, 2003).

Dalam tugas akhir ini penulis mencoba melakukan analisa keandalan terhadap stabilitas hidrolis dari lapisan pelindung utama (*armor layer*) pada bangunan pemecah gelombang gundukan di PLTU Sudimoro, Pacitan. Kemudian penulis akan mencoba memberikan variasi kepada jenis batu pada lapisan pelindung utama. Variasi yang diberikan yaitu mengganti material lapisan utama dari dolos menjadi tetrapod dan BPPT-Loc. Kemudian penulis akan membandingkan keandalan ketiga jenis struktur pemecah gelombang tersebut. Analisa keandalan akan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo sendiri sudah sangat sering digunakan pada industri minyak dan gas dan lainnya untuk memperkirakan respons ekstrem dan memperkirakan sistem keandalan (Naess *et.al.*, 2009). Metode ini juga sudah pernah digunakan oleh Torum *et. al* (2011) untuk menganalisis keandalan pada *Sirevag Berm Breakwater* di Norwegia.

## **1.2 RUMUSAN MASALAH**

Adapun perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Apakah kondisi pemecah gelombang rencana PLTU Sudimoro Pacitan sudah sesuai dengan kriteria desain berdasarkan stabilitas hidrolik?
2. Berapakah keandalan stabilitas hidrolik dari masing-masing lapisan pelindung utama untuk bangunan pemecah gelombang dengan jenis lapis pelindung dolos, tetrapod dan BPPT–Loc?

## **1.3 TUJUAN**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengevaluasi struktur pemecah gelombang desain rencana PLTU Sudimoro Pacitan berdasarkan kriteria desain stabilitas hidrolik.
2. Menghitung besar nilai keandalan pada stabilitas hidrolik dari masing-masing lapisan pelindung utama untuk bangunan pemecah gelombang dengan jenis lapis pelindung dolos, tetrapod dan BPPT–Loc.

## **1.4 MANFAAT PENELITIAN**

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Bagi Mahasiswa  
Menjadi sarana menambah ilmu pengetahuan tentang analisis keandalan stabilitas hidrolik pada struktur pemecah gelombang *rubble mound*.
2. Bagi Perguruan Tinggi  
Menjadi sumber informasi yang dapat dijadikan referensi bila ada penelitian serupa atau pun bila ada penelitian yang lebih lanjut.

## **1.5 BATASAN MASALAH**

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Beban yang diperhitungkan sebagai akibat kegagalan pada stabilitas hidrolik struktur pemecah gelombang hanyalah beban gelombang.
2. Struktur yang digunakan dalam perhitungan merupakan struktur pemecah gelombang yang sudah ada yang kemudian divariasikan.
3. Analisis stabilitas yang dihitung hanyalah stabilitas hidrolik pada lapisan pelindung utama struktur pemecah gelombang.
4. Data lingkungan yang digunakan merupakan data sekunder yang didapatkan dari pihak lain.

## **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab I ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini serta sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab II ini berisi tinjauan pustaka, yakni apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dasar teori, persamaan-persamaan yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab III menjelaskan tentang langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian tugas akhir ini, serta metode-metode yang digunakan.

### **BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab IV berisi perhitungan beban yang mempengaruhi stabilitas hidrolik struktur serta hasil analisa keandalan dari struktur pemecah gelombang.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab V menjelaskan tentang kesimpulan yang didapatkan dari pengerjaan tugas akhir ini. Serta berisikan saran-saran dan tindak lanjut yang dapat dilakukan dari penelitian ini.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 TINJAUAN PUSTAKA**

Pembangunan struktur pemecah gelombang diperuntukkan untuk mencegah dampak secara langsung energi gelombang terhadap pantai. Dengan adanya struktur tersebut erosi pantai dapat dihindari. Pemecah gelombang ada beragam, salah satunya adalah pemecah gelombang dengan sisi miring. Pemecah gelombang ini umumnya terbuat dari tumpukan batu alam (*rubble mound*) yang bagian luarnya diberi *armor* atau lapis pelindung yang berfungsi menahan serangan gelombang. Pelindung terbuat dari batu-batu ukuran besar dengan berat mencapai beberapa ton, atau menggunakan batu buatan seperti tetrapod, quadripod, tribar, hexapod, dolos, A-jack dan lain sebagainya (Rohani, Thaha, dan Paotonan, 2012).

Struktur pemecah gelombang didesain dengan menggunakan prinsip dimana konsep beban desain tidak boleh melebihi daya tahan (*carrying capacity*) struktur. Beban desain biasanya didefinisikan secara probabilistik sebagai nilai karakteristik dari beban, misalnya nilai rata-rata (*mean*) dari periode ulang gelombang 100 tahun. Pendesainan dengan metode ini sering dikenal dengan metode konvensional. Kelemahan metode ini yaitu beban desain ditentukan tanpa ada pertimbangan adanya ketidakpastian (*uncertainty*) yang terjadi. (Burchart, 1994).

Karena ketidakpastian yang terjadi, maka perlu dilakukan penilaian risiko berbasis keandalan pada struktur pantai. Beban terlibat dan variabel kekuatan diperhitungkan dengan mempertimbangkan variabel-variabel tersebut sebagai variabel acak (Koc dan Balas, 2012). Keuntungan terbesar penerapan metode probabilistik atau analisa keandalan dan risiko (*risk & reliability analysis*), adalah perancang akan dapat menghasilkan suatu sistem rekayasa yang lebih efisien dan juga memenuhi kualitas standar yang diharapkan. (Djarmiko, 2003).

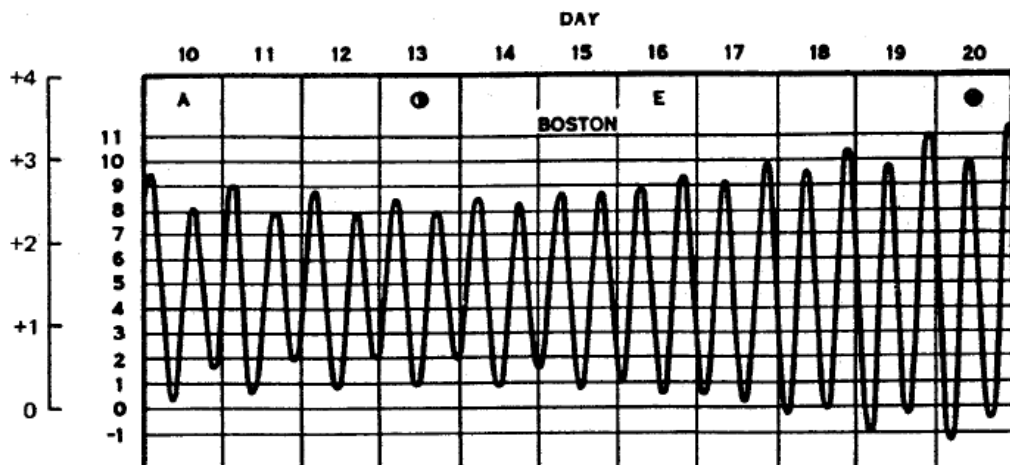
## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Analisis Data Lingkungan

#### 2.2.1.1 Pasang Surut

Pasang surut merupakan perubahan (fluktuasi) muka air laut yang disebabkan oleh gaya tarik (gravitasi) benda-benda dilangit. Gaya yang paling dominan disebabkan oleh gaya gravitasi matahari dan bulan. Meskipun massa matahari lebih besar dari massa bulan, pengaruh gravitasi bulan lebih berpengaruh terhadap pasang surut karena jarak bulan terhadap bumi jauh lebih dekat dibanding dengan jarak bumi dengan matahari. (Triadmodjo, 1999).

Pasang surut dapat terjadi dalam periode waktu 12 jam 25 menit maupun 24 jam 50 menit. Artinya dalam satu hari dapat terjadi satu (*diurnal tide*) hingga dua kali pasang surut (*semi diurnal*).



Gambar 2.1 Grafik Pasang Surut  
(Sumber: Shore Protection Manual, 1984)

Pasang surut menyebabkan perbedaan elevasi muka air laut setiap saat. Maka diperlukan elevasi yang ditetapkan berdasarkan data yang bisa digunakan semua orang untuk pedoman dalam perencanaan. Elevasi-elevasi tersebut yaitu:

- Muka air tinggi (*high water level, HWL*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- Muka air rendah (*low water level, LWL*), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
- Muka air tinggi rata-rata (*mean high water level, MHWL*), adalah rata-rata dari muka air tinggi.
- Muka air rendah rata-rata (*mean low water level, MLWL*), adalah rata-rata dari muka air rendah.

- e. Muka air laut rata-rata (*mean sea level, MSL*), adalah muka air rata-rata antara muka air tinggi rata-rata dan muka air rendah rata-rata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
- f. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level, HHWL*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- g. Muka air rendah terendah (*lowest low water level, LLWL*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- h. *Higher high water level* (HHWL), adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
- i. *Lower low water level* (LLWL), adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

### 2.2.2 Perkiraan Gelombang dengan Periode Ulang (Analisis Frekuensi)

Frekuensi gelombang-gelombang besar merupakan faktor yang mempengaruhi perencanaan struktur pemecah gelombang. Untuk menetapkan gelombang dengan periode ulang tertentu dibutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran yang cukup panjang (beberapa tahun). Data tersebut bisa berupa data pengukuran gelombang secara langsung maupun gelombang hasil prediksi (peramalan) berdasarkan data angin. Apabila data yang tersedia hanyalah berupa data angin, maka analisis dilakukan terhadap data tersebut yang kemudian hasil analisisnya digunakan untuk memprediksi dan meramalkan gelombang. Dalam hal ini gelombang hasil prediksi dan peramalan adalah gelombang signifikan (Triadmojo, 1999).

Ada dua metode untuk memprediksi gelombang dengan periode ulang tertentu, yaitu distribusi Gumbel (Fisher-Tippett Type I) dan distribusi Weibull (CERC, 1984). Tidak ada petunjuk yang jelas untuk memilih satu dari kedua metode tersebut. Biasanya pendekatan dilakukan dengan kedua metode kemudian dipilih satu yang memberikan hasil terbaik (Triadmojo, 1999).

Data yang dimasukkan terlebih dahulu disusun dari data terbesar hingga terkecil. Selanjutnya probabilitas ditetapkan untuk setiap tinggi gelombang sebagai berikut:

#### 1. Distribusi Gumbel

$$P = \exp\left(-\exp\left(-\frac{H-\gamma}{\beta}\right)\right) \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) kemudian dapat dilinierisasi dengan mengambil log dari kedua sisi sehingga menjadi

$$\ln P = -\exp\left(-\frac{H-\gamma}{\beta}\right)$$

dan mengambil log lagi

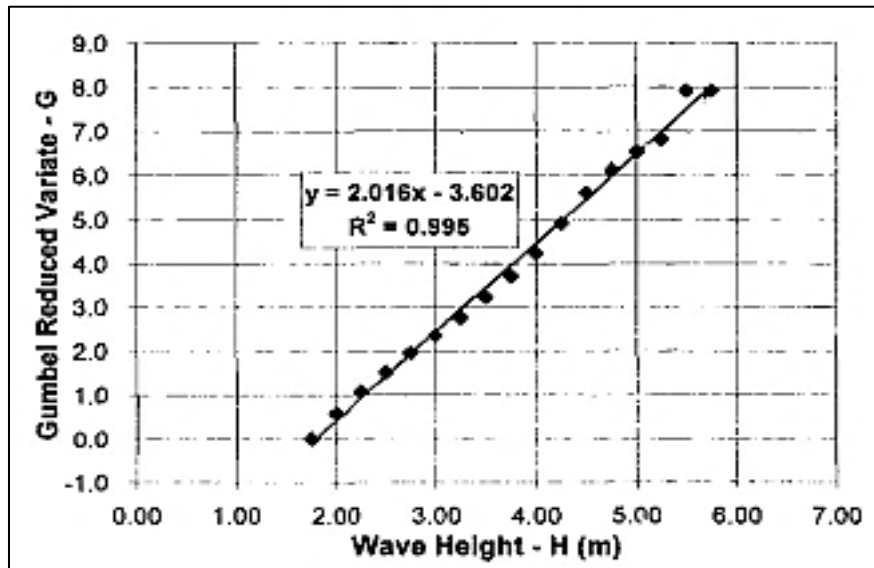
$$-\ln(-\ln P) = \frac{H-\gamma}{\beta} \quad (2.2)$$

atau

$$\begin{aligned} -\ln\left(\ln \frac{1}{P}\right) &= \frac{H-\gamma}{\beta} \\ -\ln\left(\ln \frac{1}{P}\right) &= \frac{1}{\beta}H - \frac{\gamma}{\beta} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) merupakan persamaan yang identik dengan persamaan linier  $Y = AX + B$ ; Sehingga:

- $Y = -\ln\left(\ln \frac{1}{P}\right)$  disebut sebagai *Gumbel Reduced Variate* (G)
- $H = X$
- $A = \frac{1}{\beta}$
- $B = -\frac{\gamma}{\beta}$



Gambar 2.2 Contoh Grafik *Gumbel Reduced Value*  
(Sumber: Kamphuis, 2000)

## 2. Distribusi Weibull

Berbeda dengan distribusi Gumbel yang hanya memiliki dua parameter saja, distribusi Weibull mempunyai 3 parameter (Kamphuis, 2000) .

$$P = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (2.4)$$

Jika  $Q = 1 - P$ ; maka

$$Q = \exp\left(-\left(\frac{H-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) kemudian dilinierisasi dengan mengambil log pada kedua sisi

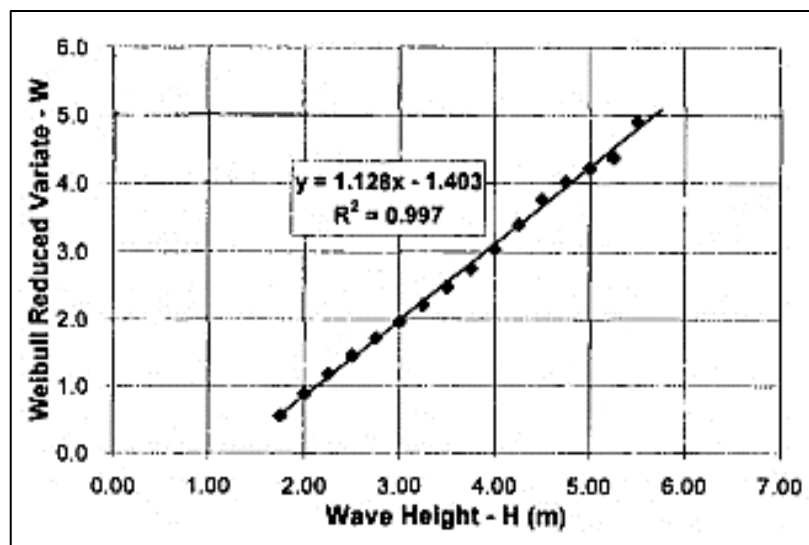
$$-\ln Q = \left(\frac{H-\gamma}{\beta}\right)^\alpha$$

atau

$$\begin{aligned} \left(\ln \frac{1}{Q}\right)^{1/\alpha} &= \frac{H-\gamma}{\beta} \\ \left(\ln \frac{1}{Q}\right)^{1/\alpha} &= \frac{1}{\beta} H - \frac{\gamma}{\beta} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) merupakan persamaan yang identik dengan persamaan linier  $Y = AX + B$ . Sehingga:

- $Y = \left(\ln \frac{1}{Q}\right)^{1/\alpha}$  disebut sebagai *Weibull Reduced Variate* (W)
- $H = X$
- $A = \frac{1}{\beta}$
- $B = -\frac{\gamma}{\beta}$



Gambar 2.3 Contoh Grafik *Weibull Reduced Value*  
(Sumber: Kamphuis, 2000)

### 3. Ekstrapolasi

Data dan koordinat transformasi linier tersebut kemudian dapat diekstrapolasi atau diinterpolasi dengan tingkat keyakinan tertentu dengan berdasar kepada probabilitas yang ada (Kamphuis, 2000). Tinggi gelombang ( $H$ ) untuk periode ulang tertentu ( $T_R$ ) dapat ditentukan. Dari data, jumlah kejadian per tahun di mana analisis didasarkan pada ( $\lambda$ ) dapat dihitung. Probabilitas terjadinya suatu kejadian dalam periode ulang tertentu ( $T_R$ ) didefinisikan

$$Q = \frac{1}{\lambda T_R}$$
$$P = 1 - \frac{1}{\lambda T_R} \quad (2.7)$$

Untuk distribusi Gumbel, dari persamaan (2.3)

$$H_R = \gamma - \beta \ln \left( \ln \frac{1}{P} \right) = \gamma - \beta \ln \left( \ln \left( \frac{\lambda T_R}{\lambda T_R - 1} \right) \right) \quad (2.8)$$

Untuk distribusi Weibull, dari persamaan (2.6)

$$H_R = \gamma + \beta \left( \ln \frac{1}{Q} \right)^{1/\alpha} = \gamma + \beta (\ln(\lambda T_R))^{1/\alpha} \quad (2.9)$$

#### 2.2.3 Desain Struktur Pemecah Gelombang

Ada banyak tipe dari struktur pemecah gelombang, salah satunya adalah pemecah gelombang sisi miring. Pemecah gelombang tipe ini sangat umum dibangun di Indonesia, mengingat dasar laut perairan Indonesia kebanyakan berupa tanah lunak.

Pemecah gelombang sisi miring biasanya didesain dan disusun dalam beberapa lapis batu. Lapisan terluar merupakan lapisan pelindung (*armour layer*) disusun dengan batu terbesar dan semakin ke dalam ukuran batunya semakin kecil. Stabilitas batu pada tiap lapis pelindung akan tergantung kepada kemiringan struktur serta jenis batu yang digunakan. Bentuk batu akan mempengaruhi kaitan antar sesama batu. Batu yang memiliki sisi tajam akan saling mengunci (*interlocking*) satu sama lain, sehingga susunan batu tersebut akan lebih stabil. Semakin miring desain pemecah gelombang, maka akan diperlukan jenis batu dengan berat yang lebih besar pula. Dalam beberapa kasus, sulit ditemukan batu alam yang memenuhi kriteria-kriteria tersebut. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuatlah batu buatan dari beton dengan ukuran tertentu. Batu buatan tersebut ada yang berupa kubus sederhana yang memerlukan berat yang besar, atau bentuk khusus yang lebih ringan namun lebih mahal dalam pembuatan.

### 2.2.3.1 Stabilitas batu lapis pelindung

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, dalam merencanakan struktur pemecah gelombang sisi miring dibutuhkan desain yang stabil. Sehingga stabilitas batu lapis pelindung harus diperhitungkan dengan baik. Stabilitas tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Hudson sebagai berikut:

$$W = \frac{\gamma_r H_s^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (2.10)$$
$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

di mana:

$W$  : berat batu pelindung

$\gamma_r$  : berat jenis batu

$\gamma_a$  : berat jenis air laut

$H$  : tinggi gelombang rencana

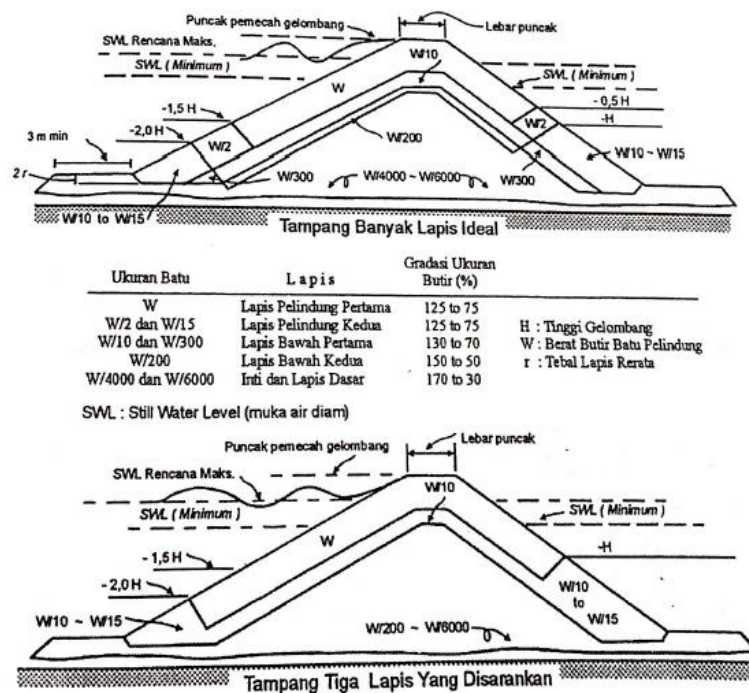
$\theta$  : sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

$K_D$  : koefisien stabilitas batu (lihat Tabel 2.1)

Persamaan (2.10) akan memberikan berat butir batu pelindung yang sangat besar. Sehingga persamaan (2.10) digunakan untuk mendapatkan berat butir batu pada lapisan pelindung terluar. Berat batu pada lapisan di bawahnya akan semakin mengecil. Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 (SPM, 1984). Gambar 2.4 merupakan gambar penampang melintang pemecah gelombang yang mendapatkan serangan gelombang dari satu sisi (sisi laut). Desain pemecah gelombang ini dibuat sehingga tidak terjadi limpasan air kecuali saat badai dan gelombang dengan periode ulang yang panjang. Gambar 2.5 merupakan gambar penampang melintang pemecah gelombang yang mendapat serangan gelombang di kedua sisinya, misalnya pada bagian luar ujung jetty. Kedua gambar tersebut merupakan tampang ideal yang disarankan.

Tabel 2.1 Koefisien stabilitas  $K_D$  untuk berbagai jenis butir

| Jenis Lapis Pelindung | n | $K_D$ | Kemiringan | Sumber              |
|-----------------------|---|-------|------------|---------------------|
| Batu Pecah            | 2 | 4     | 1.5        | (CERC, 1984)        |
| Tetrapod              | 2 | 8     | 1.5        | (CERC, 1984)        |
| Dolos                 | 2 | 15    | 1.5        | (Zuhdan, dkk, 2012) |
| BPPT-Loc              | 1 | 17    | 1.5        | (Zuhdan, dkk, 2012) |



Gambar 2.4 *Breakwater* sisi miring dengan serangan gelombang pada satu sisi  
(sumber: CERC, 1984)

Persamaan (2.10) digunakan untuk jenis batu pelindung yang memiliki ukuran hampir seragam. Untuk batu yang tidak seragam (*graded riprap*), digunakan persamaan yang telah dimodifikasi oleh Hudson dan Jackson pada tahun 1962 (SPM, 1984) sebagai berikut:

$$W_{50} = \frac{\gamma_r H^3}{K_{RR}(S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (2.11)$$

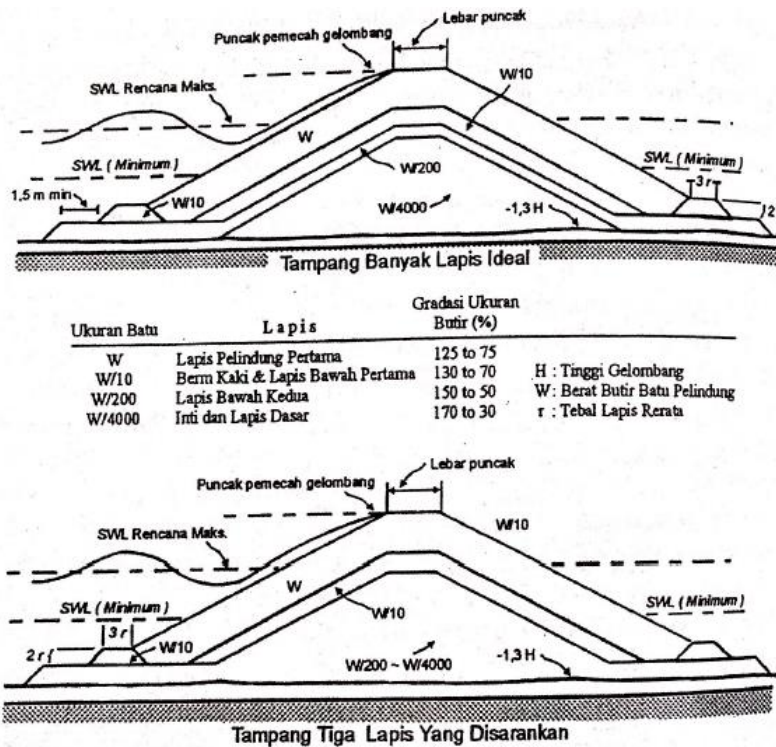
di mana:

$W_{50}$  : berat 50% dari ukuran butir batu

$K_{RR}$  : koefisien stabilitas untuk *graded riprap*

*Graded riprap* biasanya sering digunakan pada revetmen dibandingkan jetti maupun pemecah gelombang. Batasan penggunaan *graded riprap* adalah tinggi gelombang rencana yang tidak lebih dari 1.5 m. Apabila lebih besar dari nilai tersebut, batu yang digunakan yaitu ukuran seragam seperti yang diberikan pada Persamaan (2.11).





Gambar 2.5 Breakwater sisi miring dengan serangan gelombang pada kedua sisi  
(sumber: CERC, 1984)

### 2.2.3.2 Dimensi Pemecah gelombang

Elevasi puncak dan lebar puncak pemecah gelombang didesain tergantung dengan limpasan (*overtopping*) yang diizinkan. Lebar puncak minimum yang diizinkan adalah sama dengan lebar dari tiga butir batu yang disusun ( $n = 3$ ). Untuk struktur tanpa terjadi limpasan, lebar puncak pemecah gelombang bisa lebih kecil. Selain syarat tersebut, lebar puncak pemecah gelombang juga harus cukup lebar untuk keperluan operasi peralatan pada waktu pelaksanaan dan perawatan.

Lebar puncak pemecah gelombang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$B = nk_{\Delta} \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (2.12)$$

dengan:

- $B$  : lebar puncak
- $n$  : koefisien stabilitas untuk *graded riprap*
- $k_{\Delta}$  : koefisien lapis (lihat Tabel 2.2)
- $W$  : berat butir batu pelindung
- $\gamma_r$  : berat jenis batu

Tebal lapis pelindung dan jumlah butir batu tiap satu luasan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t = nk_{\Delta} \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (2.13)$$

$$N = A n k_{\Delta} \left[ 1 - \frac{P}{100} \right] \left[ \frac{\gamma_r}{W} \right]^{1/3} \quad (2.14)$$

di mana:

$t$  : tebal lapis pelindung

$n$  : jumlah lapis batu dalam lapis pelindung

$K_{\Delta}$  : koefisien lapis (lihat Tabel 2.2)

$A$  : luas permukaan

$P$  : porositas rerata dari lapis pelindung (%) (lihat Tabel 2.2)

$N$  : jumlah butir batu untuk satuan luas  $A$

$\gamma_r$  : berat jenis batu

Tabel 2.2 Koefisien Lapis

| Batu pelindung    | Penempatan | $K_{\Delta}$ | $P$ (%) | Sumber       |
|-------------------|------------|--------------|---------|--------------|
| Batu alam (kasar) | Acak       | 1.15         | 37      | (CERC, 1984) |
| Tetrapod          | Acak       | 1.04         | 50      | (CERC, 1984) |
| Dolos             | Acak       | 1.00         | 63      | (CERC, 1984) |
| XBlock            | Acak       | 0.95         | 58.7    | (DMC, 2011)  |

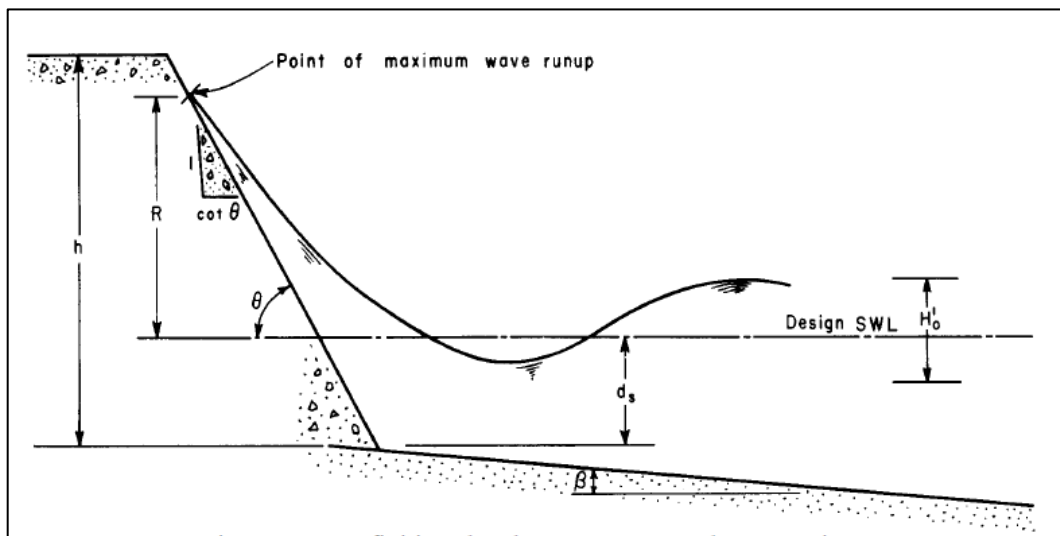
Jika struktur pemecah gelombang dibangun sampai pada kedalaman  $1.5 H$ , maka berat butir lapis pelindung ditempatkan sampai pada elevasi sama dengan tinggi gelombang  $H$ . Jika struktur tidak sampai pada kedalaman  $1.5 H$ , lapis pelindung dibuat sampai dasar bangunan.

Struktur yang terbuka terhadap serangan gelombang pecah harus dilengkapi dengan *berm* kaki dari batu pecah. Dalam perancangan awal, batu dari *berm* mempunyai berat  $W/10$ . Untuk lebar *berm* dihitung menggunakan Persamaan (2.12) dengan  $n = 3$ . Tinggi minimum *berm* dihitung dengan  $n = 2$ .

Apabila butir batu untuk lapis pertama dan kedua dibuat dengan material yang sama, maka berat batu pada lapis kedua yang berada di antara  $-1.5H$  dan  $-2.0H$  adalah lebih besar dari  $W/2$ . Di bawah  $-2.0H$  berat batu berkurang menjadi sekitar  $W/15$ . Lapis lindung kedua yang terletak dari  $-1.5H$  hingga ke dasar mempunyai tebal yang sama atau lebih tebal dari lapisan pelindung pertama.

### 2.2.3.3 Run Up Gelombang

Pada saat gelombang menghantam suatu struktur, gelombang tersebut akan naik (*run up*) dan mencapai titik tertentu pada sisi struktur tersebut. Titik *run up* tertinggi tersebut penting diketahui untuk mendesain elevasi tertinggi dari pemecah gelombang. *Run up* tergantung pada bentuk dan kekasaran struktur, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan (*slope*) dasar laut di depan struktur, dan karakteristik gelombang. Banyaknya variabel yang mempengaruhi menyebabkan sulitnya menentukan *run up* secara analitis.



Gambar 2.6 Run Up gelombang

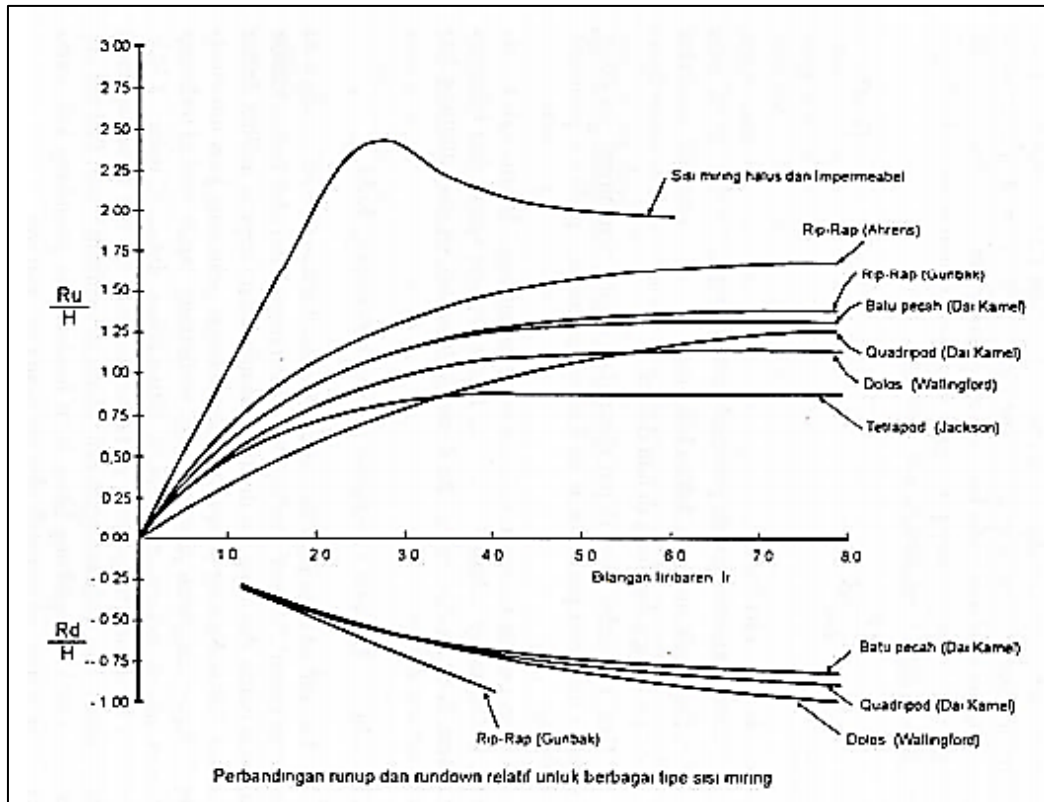
(sumber : Triadmojo, 1999)

Setelah dilakukan banyak eksperimen *run up* pada laboratorium, didapatkan hasil yang dibuatkan ke dalam bentuk grafik. Pada Gambar 2.7 dapat dilihat grafik *run up* yang dilakukan oleh *Irribaren* pada struktur miring untuk berbagai tipe material. Sebagai fungsi, bilangan *Irribaren* memiliki bentuk sebagai berikut:

$$I_r = \frac{\tan \theta}{(H/L_0)^{0.5}} \quad (2.15)$$

dengan:

- $I_r$  : bilangan *Irribaren*
- $\theta$  : sudut kemiringan sisi pemecah gelombang
- $H$  : tinggi gelombang di lokasi struktur
- $L_0$  : panjang gelombang di laut dalam



Gambar 2.7 Grafik Run Up gelombang

(sumber : CERC, 2007)

#### 2.2.3.4 Stabilitas Pondasi Tumpukan Batu dan Kaki Pelindung

Tumpukan batu juga digunakan sebagai pondasi dan kaki pelindung bangunan pantai. Bangunan dari blok beton atau kaisson diletakkan di atas tumpukan batu sedangkan tumpukan batu yang digunakan sebagai pelindung diletakkan di depan struktur untuk melindungi tanah pondasi terhadap gerusan akibat gelombang.

Berat butir batu untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan diberikan oleh persamaan berikut:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (2.16)$$

dengan:

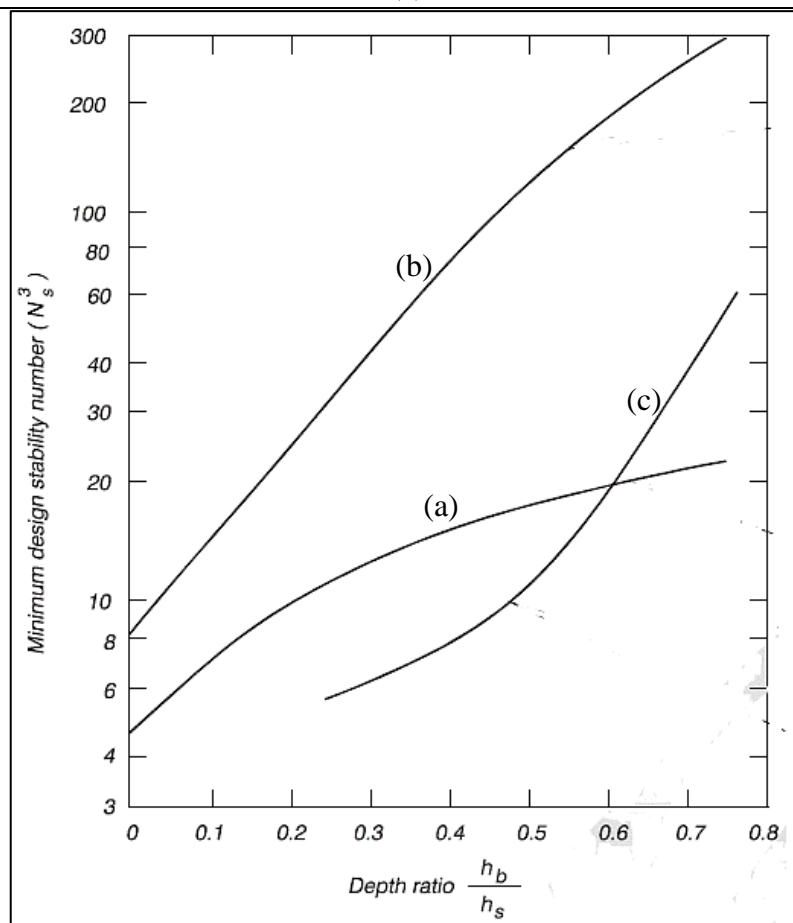
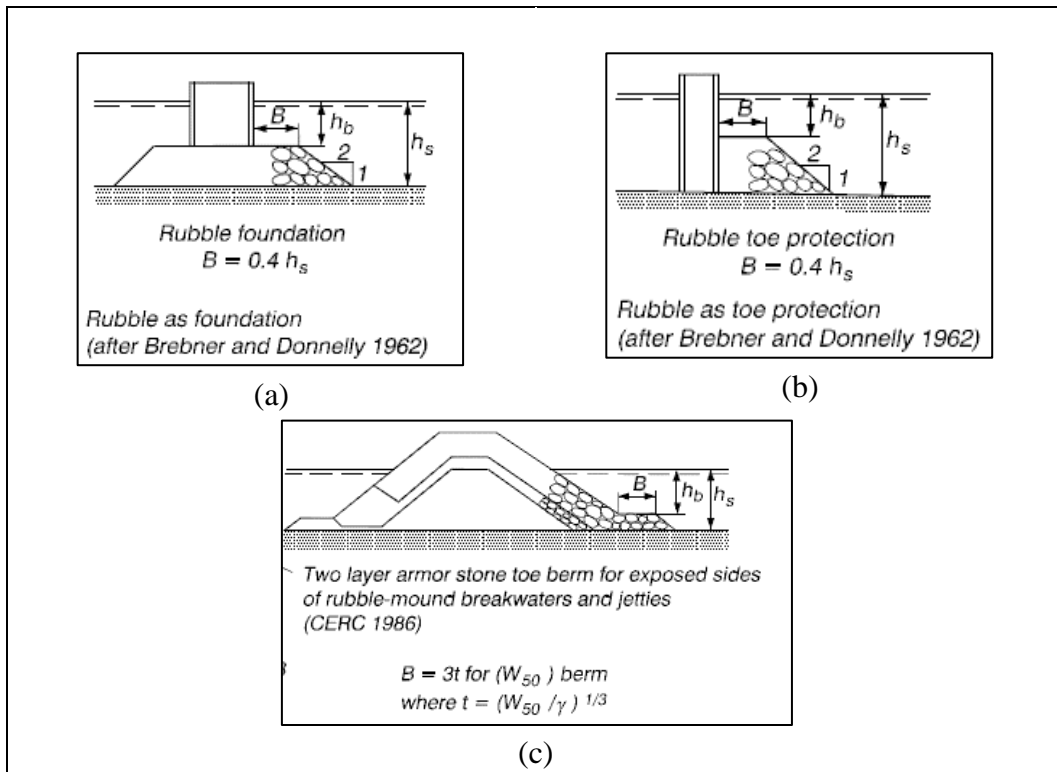
$W$  : berat rata-rata butir batu

$\gamma_r$  : berat jenis batu

$\gamma_a$  : berat jenis air laut

$H$  : tinggi gelombang rencana

$N_s$  : angka stabilitas rencana untuk pondasi dan pelindung kaki (Gambar 2.8)



Gambar 2.8 Angka stabilitas  $N_s$  untuk pondasi dan pelindung kaki  
 (sumber : CERC, 2007)

#### 2.2.4 Keandalan

Dalam sistem rekayasa, tidak ada parameter perancangan dan kinerja operasi yang dapat diketahui dengan pasti. Hal ini dikarenakan tidak ada satu pun manusia yang dapat memprediksi kepastian ataupun ketidakpastian dari suatu kejadian. Menurut Ang dan Tang yang diuraikan oleh Rosyid (2007), secara garis besar ketidakpastian dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

- Variabilitas fisik, yaitu fenomena alami yang sifatnya acak dan bervariasi
- Ketidakpastian statistik dalam perkiraan nilai suatu parameter atau pemilihan distribusi
- Ketidakpastian dalam permodelan yang didasarkan pada idealisasi atau pengambilan asumsi.

Oleh sebab itu, perancangan atau analisis atau suatu sistem rekayasa selalu mengandung ketidakpastian yang pada akhirnya menyebabkan ketidakandalan pada tingkat tertentu.

Secara tradisional, permasalahan ketidakpastian telah diakomodasi dengan konsep angka keamanan (*safety factor*) yang secara prinsip hanya memperhatikan harga rata-rata besaran pada desain. Meskipun pendekatan angka keamanan sejauh ini cukup memadai, pertimbangan peluang dalam kerangka rekayasa keandalan memberikan basis yang lebih rasional untuk mengakomodasi ketidakpastian (Rosyid, 2007).

#### 2.2.5 Distribusi Frekuensi

Data yang diambil untuk pengamatan/penelitian tertentu memiliki jumlah yang sangat banyak, sehingga akan lebih baik apabila data-data tersebut diorganisasikan ke dalam bentuk yang lebih ringkas dengan tanpa menghilangkan fakta-fakta pentingnya. Caranya yaitu dengan mengelompokkan data-data ke dalam sejumlah kelas dan kemudian menentukan banyaknya data yang tergolong ke dalam masing-masing kelas yang telah ditentukan tersebut (frekuensi kelas). Susunan data tersebut kemudian dikenal sebagai distribusi frekuensi. Jika frekuensi kelas ditampilkan dalam bentuk persentase dari banyaknya seluruh data, maka ia disebut distribusi frekuensi relatif.

Pengelompokan dalam bentuk distribusi frekuensi memberikan keuntungan penting berupa kejelasan gambaran keseluruhan data sehingga kecenderungan (tren) karakteristiknya mudah terlihat. Kelemahannya yaitu menghilangkan bentuk asli dari data yang semula lebih terperinci (Harinaldi, 2005).

### 2.2.5.1 Pertimbangan dalam Penyusunan Distribusi Frekuensi

Untuk meminimalkan kerugian pengelompokan (*grouping error*) data, ada beberapa kriteria yang perlu dipertimbangkan dalam menyusun distribusi frekuensi, yaitu:

1. Interval kelas harus dipilih dengan memastikan dua ketentuan
  - a. Seluruh data harus terikutsertakan.
  - b. Setiap unit data hanya dimasukkan sekali saja dan hanya di satu kelas interval saja.
2. Umumnya jumlah interval kelas yang digunakan adalah antara 5 sampai 20, tergantung pada beberapa faktor seperti jumlah data yang diamati, tujuan penyusunan distribusi frekuensi, dan kepentingan-kepentingan dari analisis.
3. Sebisa mungkin lebar setiap interval kelas sama (untuk lebih mudah biasanya digunakan kelipatan dari angka 5, 10, 100, 1000, dst). Jika jumlah data tidak terlalu banyak, sebagai perkiraan awal dalam menentukan lebar kelas, dapat digunakan persamaan:

$$c = \frac{R}{K} \quad (2.17)$$

di mana:

$c$  = lebar interval kelas (hasilnya dibulatkan)

$R$  = kisaran data (*range*) = selisih data terbesar dengan data terkecil

$K$  = jumlah interval kelas

Jika jumlah data terlalu banyak maka jumlah interval kelas ( $K$ ) dapat dicari dengan menggunakan pendekatan Sturge, yaitu:

$$K = 1 + 3.3 \log n \quad (2.18)$$

di mana:

$K$  = jumlah interval kelas

$n$  = jumlah data

4. Sebisa mungkin interval kelas terbuka (*open class interval*) dihindari. Interval kelas terbuka mungkin diperlukan jika beberapa nilai data sangat berbeda (terlalu kecil atau terlalu besar) dibandingkan dengan nilai data lainnya. Namun untuk keperluan analisis statistik seperti perhitungan rata-rata dan deviasi standar, interval kelas terbuka tidak bisa dipakai
5. Jika mungkin, interval kelas dipilih sedemikian rupa sehingga nilai tengah kelasnya berkesesuaian dengan nilai di mana data aktual terkonsentrasi.

### 2.2.5.2 Presentasi Grafik Distribusi Frekuensi

#### 1. Histogram

Histogram merupakan grafik batang yang menggambarkan distribusi data dari sebuah distribusi frekuensi. Batang-batang pada histogram memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Dasarnya pada sumbu horizontal (sumbu –  $x$ ) lebarnya sama dengan lebar interval kelas.
- b. Luas proporsionalnya terhadap frekuensi interval kelas yang bersangkutan.

#### 2. Distribusi Frekuensi Kumulatif

Pada keadaan tertentu sering kali kita lebih perlu mengetahui banyak data yang bernilai di bawah (kurang dari) atau yang bernilai di atas (lebih dari) suatu nilai tertentu daripada yang berada dalam satu interval tertentu. Dalam hal ini distribusi frekuensi dapat diubah menjadi distribusi frekuensi kumulatif dan direpresentasikan dalam grafik yang disebut *ogive*. Jika banyak data dalam distribusi tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap banyaknya seluruh data, maka seluruh data tersebut disebut distribusi frekuensi kumulatif relatif.

### 2.2.6 Ukuran Pemusatan

Data sering menunjukkan kecenderungan terpusat di sekitar suatu nilai nilai pusat ini kemudian dapat digunakan sebagai suatu ukuran ringkas yang menggambarkan karakteristik umum data tersebut. Nilai tersebut dalam statistik disebut sebagai ukuran pemusatan (*central tendency*).

Terdapat beberapa ukuran pemusatan yang sering digunakan dalam statistik. Ukuran – ukuran tersebut biasanya dijelaskan untuk data yang tak terkelompok (*ungrouped data*) maupun data terkelompok (*grouped data*). Dalam rumusannya juga dibedakan antara ukuran yang menunjukkan karakteristik populasi (parameter) dengan yang menunjukkan karakteristik sampel (statistik).

#### 2.2.6.1 Mean / Rata-rata

Rata-rata adalah nilai yang mewakili sifat tengah, atau posisi pusat dari suatu kumpulan nilai data. Menurut acuannya, rata-rata dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu rata-rata aritmetika, rata-rata aritmetika terbobot, rata-rata geometrik, rata-rata harmonik, dan rata-rata kuadratik. Berikut adalah persamaan untuk menghitung rata-rata dari suatu data :



- Data tak terkelompok  
untuk suatu sampel:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.19)$$

untuk suatu populasi:

$$\mu_x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.20)$$

- Data terkelompok  
untuk suatu sampel:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_{m,i}}{\sum_{i=1}^k f_i} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_{m,i}}{n} \quad (2.21)$$

untuk suatu populasi:

$$\mu_x = \frac{\sum_{i=1}^K f_i x_i}{\sum_{i=1}^K f_i} = \frac{\sum_{i=1}^K f_i x_{m,i}}{N} \quad (2.22)$$

dimana

$\bar{x}$  : mean aritmetika dari suatu sampel

$\mu_x$  : mean aritmetika dari suatu populasi

$x_i$  : nilai dari data (variabel)

$f_i$  : frekuensi atau jumlah pengamatan dalam sebuah interval kelas

$x_{m,i}$  : nilai tengah dari interval kelas

$k$  : jumlah interval kelas dalam suatu sampel

$K$  : jumlah interval kelas dalam suatu populasi

$n$  : banyaknya data x dalam suatu sampel

$N$  : banyaknya data x dalam suatu populasi

### 2.2.6.2 Median / Nilai tengah

Median menyatakan posisi tengah dari nilai data yang terjajar. Secara geometris, median adalah nilai dari absis-x yang bertepatan dengan garis vertikal yang membagi daerah di bawah poligon menjadi dua bagian daerah yang luasnya sama. Hasil dapatan dari nilai tengah memberikan informasi sebanyak 50% dari keseluruhan data melampaui nilai dapatan tersebut. Nilai tengah suatu data dapat dicari dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

- Data tak terkelompok

Nilai yang berada pada posisi setengah N (keseluruhan) jajaran data, terlebih dahulu data harus diurutkan dari yang terkecil ke yang terbesar

- Data terkelompok

$$\tilde{x} = L_i + \left( \frac{\frac{n}{2} - (\sum f)_l}{f_{median}} \right) c \quad (2.23)$$

di mana

$L_i$  : batas bawah nyata kelas dari kelas median

$n$  : banyaknya data

$(\sum f)_l$  : jumlah frekuensi seluruh kelas yang lebih rendah dari kelas median

$f_{median}$  : frekuensi kelas median

$c$  : lebar interval kelas median

### 2.2.6.3 Modus

Modus adalah nilai yang paling sering muncul dari jajaran keseluruhan data, dalam kata lain adalah nilai dengan frekuensi terbesar. Pada teori peluang, modus memberikan gambaran kejadian yang paling mungkin muncul pada sekian kali kejadian. Untuk mendapatkan nilai modus, dapat diketahui dengan persamaan pada penjelasan berikut:

- Data tak terkelompok

Modus dapat dilihat dari nilai yang mempunyai frekuensi muncul paling besar.

- Data terkelompok

$$\hat{x} = L_i + \left( \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} \right) c \quad (2.24)$$

di mana

$L_i$  : batas bawah nyata kelas dari kelas median

$\Delta_1$  : selisih frekuensi kelas modus dari kelas sebelumnya

$\Delta_2$  : selisih frekuensi kelas modus dari kelas sesudahnya

$c$  : lebar interval kelas median

### 2.2.7 Fungsi Distribusi Probabilitas

Distribusi probabilitas adalah model matematika yang menghubungkan harga suatu variabel dengan peluang kemunculan harga dari suatu populasi. Distribusi probabilitas berguna dalam analisis keandalan untuk mengetahui peluang suatu besaran fisik memiliki satu harga tertentu (Rosyid, 2007)

### 2.2.7.1 Distribusi Diskrit

Distribusi diskrit merupakan distribusi di mana variabel secara teoritis tidak dapat menerima sembarang nilai di antara dua nilai yang diberikan. Peluang suatu variabel acak  $x$  sering kali dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan. Tetapi tidak menutup kemungkinan jika distribusi diskrit dari suatu variabel acak dinyatakan dalam bentuk tabel ataupun grafik.

Bila variabel acak  $x$  menduduki nilai tertentu  $x_i$  maka peluangnya dapat dituliskan sebagai berikut:

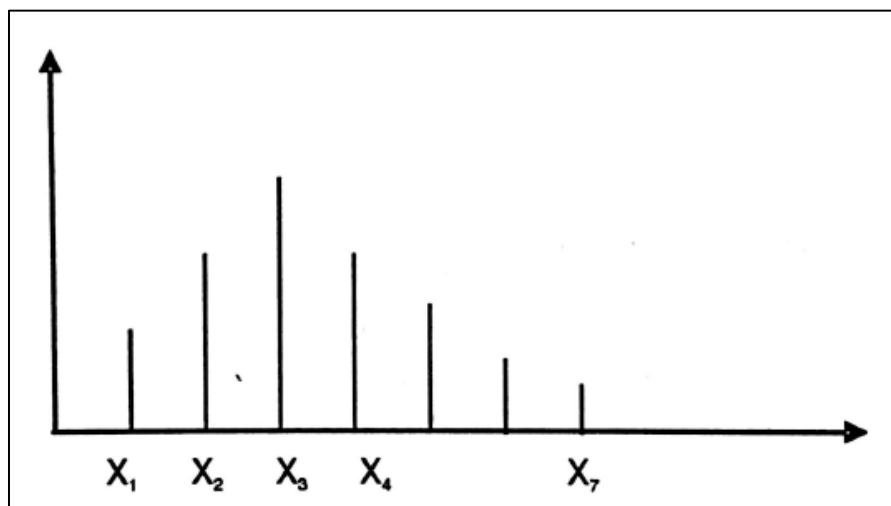
$$P[x = x_i] = P(x_i) \quad (2.25)$$

Beberapa distribusi probabilitas diskrit yang menggambarkan variabel bebas yang banyak ditemui dalam persoalan analisis keandalan dengan bantuan analisis statistik seperti distribusi hiper-geometrik, distribusi binomial, dan Distribusi Poisson.

### 2.2.7.2 Distribusi Kontinu

Distribusi kontinu adalah model matematis yang menghubungkan nilai suatu variabel dengan peluang terjadinya nilai tersebut. Bentuk penyajian distribusi ini yaitu dengan kurva halus dengan luasan di bawah kurva adalah sama dengan peluang terjadinya nilai di antara rentang tersebut. Sehingga peluang  $x$  bahwa terletak dalam interval  $a$  sampai  $b$  ditulis:

$$P[a \leq x \leq b] = \int_a^b f(x) dx \quad (2.26)$$



Gambar 2.9 Penyajian data distribusi diskrit

(sumber: Rosyid, 2007)

*Mean* (rata-rata) adalah pusat massa distribusi probabilitas sehingga sebagai ukuran untuk menentukan lokasi nilai dalam suatu distribusi, akan tetapi ia tidak harus merupakan persentil kelima puluh distribusi tersebut (yang dinamakan *median*).

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.27)$$

Penyebaran atau variabilitas dalam suatu distribusi dinyatakan dengan *variansi*.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}{N} \quad (2.28)$$

Dari Persamaan (2.28), bisa dimaknai bahwa variansi merupakan rata-rata jarak kuadrat tiap elemen populasi terhadap *mean*-nya. Akar kuadrat dari variansi kemudian disebut dengan *deviasi standar* atau simpangan baku. Simpangan baku berguna untuk mengukur penyebaran atau pemencaran dalam populasinya yang dinyatakan dalam satuan asli suatu besaran.

Beberapa distribusi kontinu yang sering digunakan yaitu Distribusi Normal, Distribusi Eksponensial, dan Distribusi Weibull.

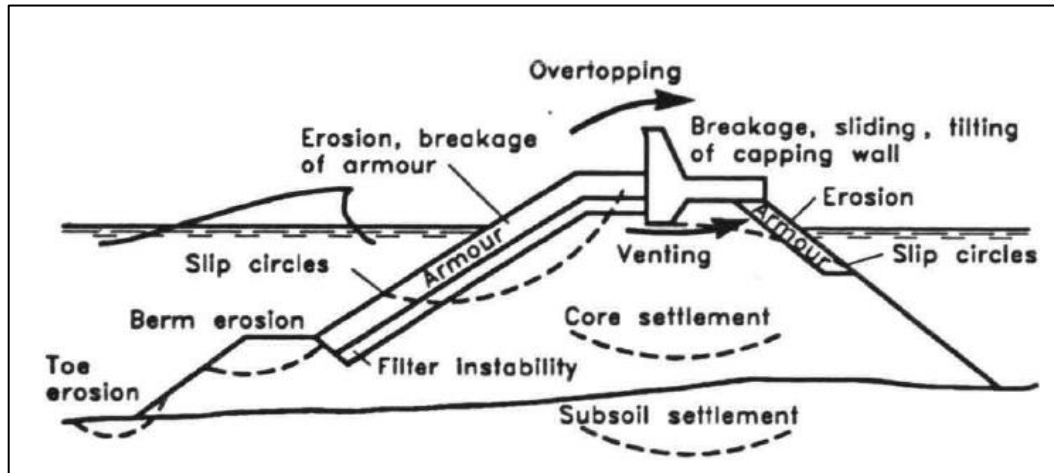
## **2.2.8 Mode Kegagalan dan Fungsi Kegagalan**

### **2.2.8.1 Mode Kegagalan Struktur Pemecah gelombang**

Kegagalan pada struktur dapat diartikan sebagai kerusakan sebagian maupun total yang terjadi pada struktur. Dengan demikian, runtuhnya sebagian dari struktur dapat diklasifikasikan sebagai “kerusakan” asalkan strukturnya tetap berfungsi pada tujuan utama pembangunan atau di atas tingkat minimum yang diharapkan. Misalnya penurunan pemecah gelombang pelindung pelabuhan akan dianggap sebagai kegagalan jika menyebabkan *overtopping* sehingga mengganggu kriteria operasional dalam pelabuhan. Kegagalan pada proyek pantai dikarenakan oleh satu atau beberapa alasan berikut:

- Kegagalan desain muncul ketika struktur secara keseluruhan, termasuk pondasi, atau komponen individual struktur tidak dapat menahan kondisi pembebanan sesuai dengan kriteria desain. Kegagalan desain juga terjadi ketika struktur tidak dapat berfungsi sesuai dengan tujuan desain.
- Beban kegagalan terlampaui terjadi karena kondisi beban desain yang diharapkan terlampaui.
- Kegagalan konstruksi timbul disebabkan oleh kesalahan atau konstruksi yang buruk atau material konstruksi.
- Kerusakan yang memburuk adalah akibat kerusakan struktur dan kurangnya pemeliharaan (*maintenance*).

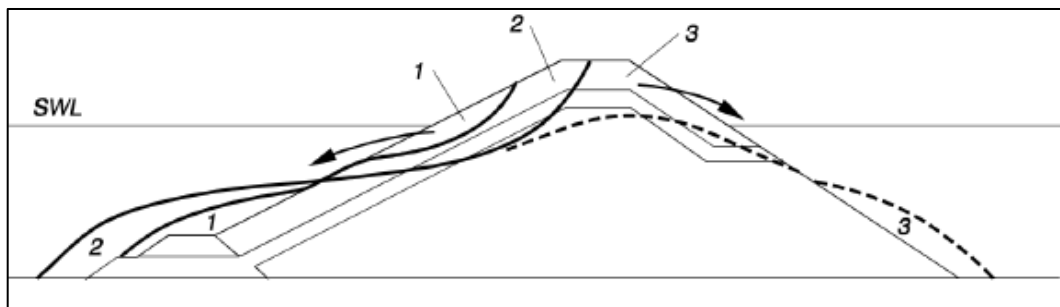
Dalam proses desain, semua kemungkinan mode kegagalan harus diidentifikasi untuk menemukan desain yang imbang dan baik. Beberapa mode kegagalan yang terjadi pada struktur pemecah gelombang akan dibahas selanjutnya.



Gambar 2.10 Kegagalan yang mungkin terjadi pada pemecah gelombang  
(sumber : CEM, 2002)

Pada Gambar 2.10 dapat menjelaskan secara umum kegagalan yang terjadi pada *rubble-mound* pemecah gelombang. Secara khususnya, ada beberapa jenis kegagalan, yaitu:

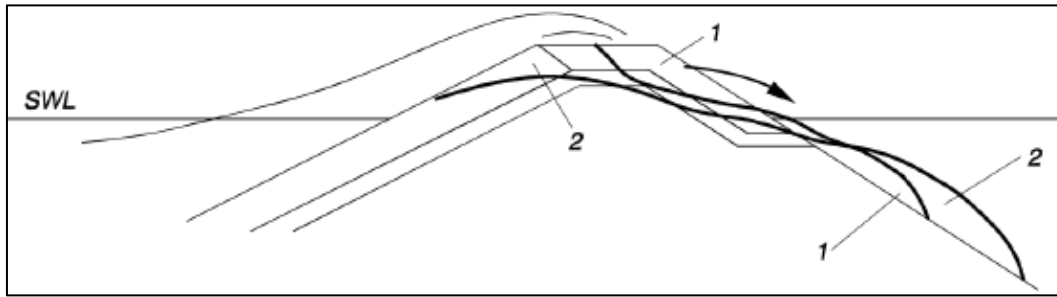
- Ketidakstabilan hidrolis dari pelindung utama untuk struktur konvensional *multilayer*. Mode kegagalan ini merupakan tipe kegagalan yang lambat.



Gambar 2.11 Ketidakstabilan lapisan pelindung utama  
(sumber : CEM, 2002)

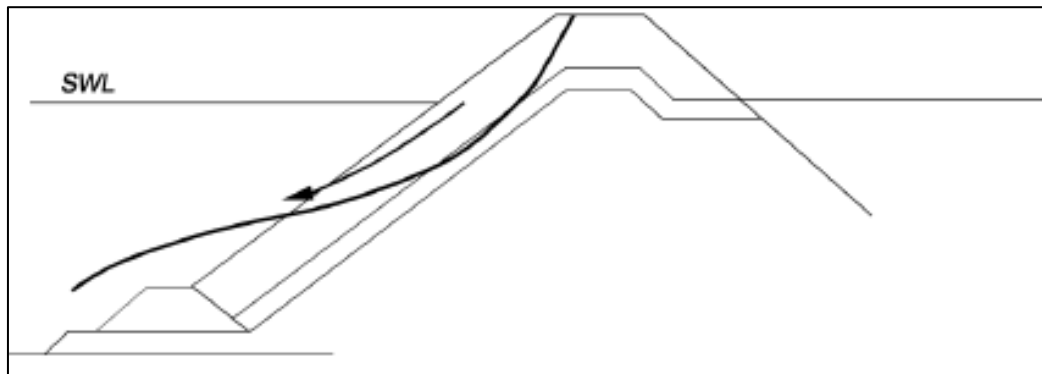
1. Perpindahan / pergeseran pelindung utama sekitar SWL.
2. Erosi selanjutnya pada lapisan di bawahnya dan lapisan inti, akibat pengembangan dari *S-profile*
3. Akhirnya gelombang menyapu struktur puncak.

- Erosi pada sisi belakang dari puncak pada struktur konvensional akibat *overtopping*.



Gambar 2.12 Erosi pada sisi belakang puncak pemecah gelombang  
(sumber : CEM, 2002)

1. Perpindahan / pergeseran pelindung pada puncak dan sisi belakang.
  2. Kemudian pelindung puncak dan lapisan di bawahnya tersapu gelombang.
  3. Bagian puncak pada struktur akan menjadi lebih rata.
- Ketidakstabilan hidrolis dari pemecah gelombang yang unit pelindungnya diletakkan secara acak pada sisi curam dan hanya disusun satu lapis saja.



Gambar 2.13 Ketidakstabilan hidrolis pada sisi curam  
(sumber : CEM, 2002)

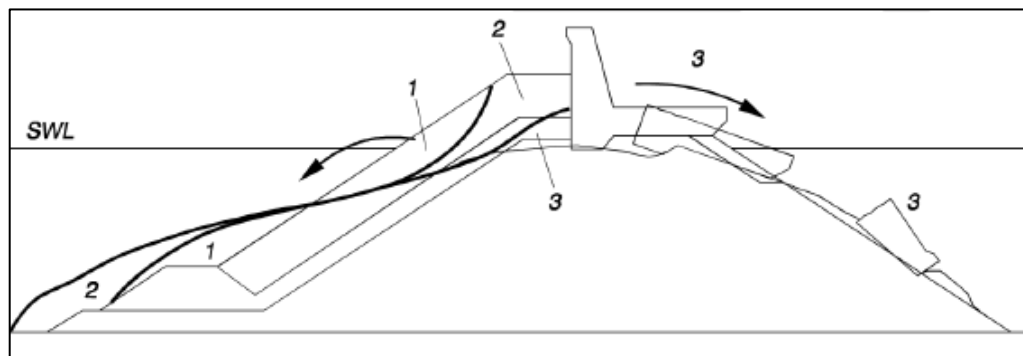
1. Perpindahan / pergeseran secara tiba-tiba dengan proporsi yang besar dari lapisan pelindung utama.
2. Selanjutnya terjadi erosi pada lapisan di bawah yang terekspos secara langsung dengan gelombang.

- Kerusakan pada unit pelindung.



Gambar 2.14 Unit pelindung rusak / pecah  
(sumber : CEM, 2002)

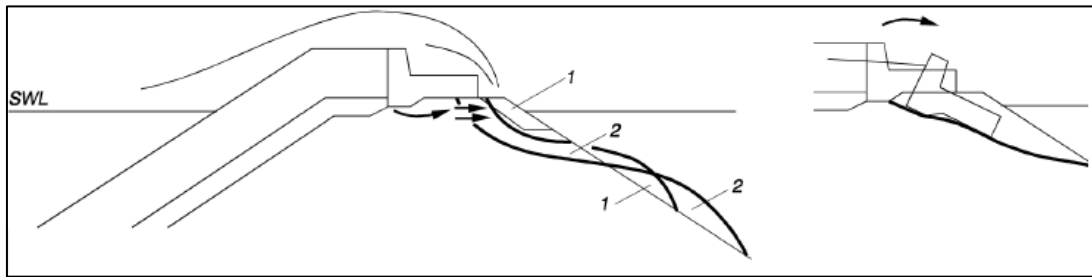
1. Unit pelindung pecah ketika tegangan yang disebabkan oleh gravitasi dan gaya gelombang melebihi kekuatan dari beton.
  2. Kerusakan dari jenis unit pelindung yang kompleks menyebabkan keruntuhan dari lapisan pelindung jika sebagian besar unit pelindungnya rusak. (sekitar 15%)
- Kegagalan akibat kerusakan unit pelindung.



Gambar 2.15 Kegagalan akibat kerusakan unit pelindung  
(sumber : CEM, 2002)

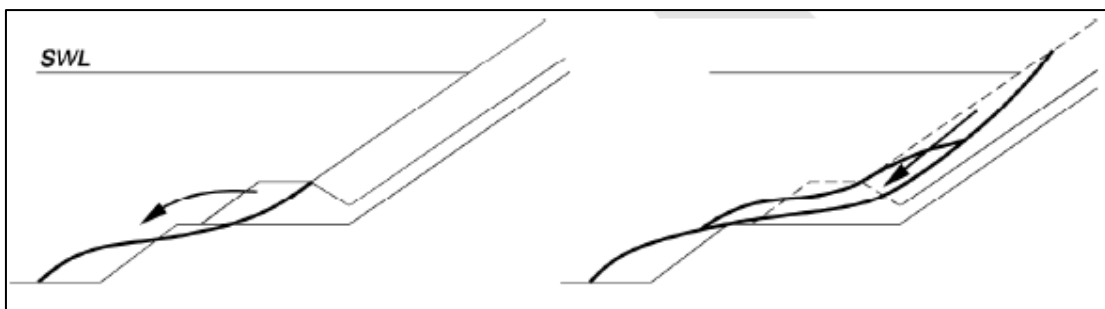
1. Perpindahan / pergeseran unit yang masih utuh maupun yang sudah rusak.
2. Selanjutnya dinding akan terekspos secara langsung terhadap gelombang dan menambah tekanan.
3. Akhirnya struktur pecah dan gelombang dapat menyapu superstruktur.

- Erosi pada sisi belakang pelindung akibat gelombang *overtopping*.



Gambar 2.16 Erosi pada sisi belakang akibat overtopping  
(sumber : CEM, 2002)

1. Pergeseran pelindung pada sisi belakang
  2. Selanjutnya *bedding material* di bawah superstruktur akan terdorong keluar akibat kelonggaran.
  3. Memungkinkan kegagalan slip pada *bedding material* yang menyebabkan perpindahan / pergeseran superstruktur.
- Kegagalan pada pelindung utama akibat erosi pada kaki.



Gambar 2.17 Kegagalan pelindung utama akibat erosi pada kaki struktur  
(sumber : CEM, 2002)

1. Erosi dimulai pada “bahu” dari kaki pemecah gelombang dan menjalar hingga ke kaki dari pelindung utama. Kaki pemecah gelombang berfungsi untuk menguatkan pelindung utama selama erosi pada kaki tidak menyebabkan kemerosotan pelindung.
2. Kemerosotan lapisan pelindung menyebabkan tergelincirnya unit pelindung.



### 2.2.8.2 Fungsi Kegagalan

Tiap-tiap mode kegagalan tersebut harus dideskripsikan dengan suatu formulasi, dan interaksi antar mode kegagalan harus diketahui. Berikut adalah formulasi mode kegagalan “stabilitas hidrolik dari lapisan pelindung utama” yang dideskripsikan dengan persamaan Hudson:

$$\frac{H_d}{\Delta D_n} = \sqrt[3]{K_D \cot \theta}$$

$$D_n = \frac{W}{\gamma_r}$$
(2.29)

di mana:

- $W$  : berat unit pelindung utama
- $\Delta$  :  $\gamma_r/\gamma_a - 1$
- $\gamma_r$  : densitas blok unit
- $\gamma_w$  : densitas air
- $\theta$  : sudut kemiringan pelindung
- $H_d$  : tinggi gelombang desain
- $K_D$  : koefisien stabilitas
- $D_n$  : diameter unit pelindung

Persamaan ini hanya berlaku untuk kemiringan struktur antara 1:1 hingga 1:4 (Van Zwicht, 2009). Persamaan tersebut bisa dipisah menjadi variabel beban  $X_i^{load}$  dan variabel resisten  $X_i^{res}$ . Untuk menentukan apakah parameter tersebut merupakan parameter beban atau resisten bisa dilihat dari fungsi kegagalan. Jika suatu nilai yang semakin besar pada suatu parameter menghasilkan kondisi struktur yang aman, maka itu adalah parameter resisten. Sebaliknya jika suatu nilai yang semakin besar pada parameter akan menghasilkan struktur semakin tidak aman, maka itu adalah parameter beban.

Berdasarkan definisi tersebut, maka dari Persamaan (2.29) hanya ada satu variabel beban, yaitu  $H$  sedangkan yang lainnya merupakan variabel resisten. Persamaan (2.29) dapat diformulasikan sebagai fungsi kegagalan sebagai berikut:

$$g = D_n \Delta (\sqrt[3]{K_D \cot \theta}) - H_s \begin{cases} < 0 & failure \\ = 0 & limit\ state\ (failure) \\ > 0 & no\ failure\ (safe\ region) \end{cases}$$
(2.30)

Secara umum Persamaan (2.30) dapat dituliskan menjadi:

$$g = R - S$$
(2.31)

Di mana R adalah parameter resistan dan S adalah parameter beban. Biasanya R dan S merupakan fungsi dari banyak variabel acak.

$$R = R(X_1^{res}, X_2^{res}, X_3^{res}, \dots, X_m^{res}) \text{ dan } S = S(X_{m+1}^{load}, \dots, X_n^{load}) \text{ atau } g = g(\bar{X})$$

Kondisi batas terjadi ketika nilai  $g = 0$ .

### 2.2.9 Metode Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo merupakan salah satu metode untuk analisis keandalan pada bidang rekayasa maupun ekonomi. Metode ini digunakan ketika suatu sistem yang diamati mengandung variabel atau parameter yang memiliki nilai acak (Rosyid, 2007). Karakteristik utama simulasi ini adalah suatu set nilai dari tiap-tiap variabel dari sistem disimulasikan sesuai dengan distribusi probabilitasnya.

Unsur pokok yang diperlukan dalam simulasi Monte Carlo adalah *random number generator*. Prinsip dasar metode ini adalah sampling numerik dengan bantuan *random number generator* (RNG), di mana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari variabel acak berdasarkan distribusi peluang variabel acak tersebut. Sampel yang diambil tersebut dipakai sebagai *input* dalam persamaan fungsi kinerja FK(X), dan harga FK(X) kemudian dihitung. Jika nilai FK(X) < 0 dan jumlah sampel tersebut adalah N maka sistem yang ditinjau dianggap gagal sejumlah  $n$  kali (Rosyid, 2007). Sehingga peluang kegagalan sistem adalah rasio antara jumlah kejadian gagal dengan jumlah sampel.

$$P_f = \frac{n}{N} \quad (2.32)$$

di mana:

$n$  : jumlah kejadian yang gagal

$N$  : jumlah sampel

$P_f$  : peluang kegagalan

Maka keandalan dapat dicari dengan cara sebagai berikut:

$$K = 1 - P_f \quad (2.33)$$

di mana:

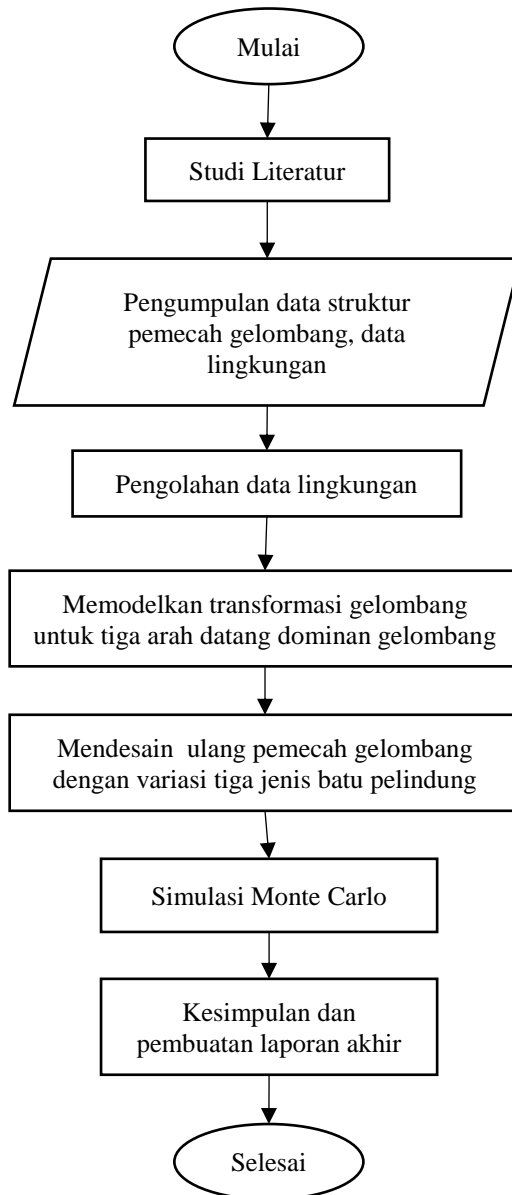
$K$  : keandalan

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 DIAGRAM ALIR

Alur pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 diagram alir pengerjaan berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

Gambar 3.1 menjelaskan urutan pekerjaan yang harus dilakukan untuk mempermudah pengerjaan tugas akhir ini. Penjelasan mengenai diagram alir di atas dapat dilihat pada sub-bab 3.2 berikutnya.

### 3.2 PENJELASAN DIAGRAM ALIR

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir ini, diperlukan langkah-langkah pengerjaan yang berurutan berdasarkan urutan kerja sehingga tujuan yang diharapkan dapat dicapai. Penjelasan dari Gambar 3.1 adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Pada tahapan ini penulis melakukan pembelajaran terhadap materi-materi yang mendukung penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan membaca buku-buku, jurnal penelitian sebelumnya, modul dan segala literatur yang berhubungan dengan topik ini.

2. Pengumpulan data

Selanjutnya penulis melakukan pengumpulan data untuk dilakukan analisa. Data yang dibutuhkan berupa data struktur pemecah gelombang. Penulis menggunakan data pemecah gelombang PLTU Pacitan. Untuk data lingkungan penulis menggunakan data sekunder yang didapatkan dari Laporan Pendahuluan Kajian *Breakwater* PLTU Pacitan 2017. Dalam laporan tersebut terdapat data angin dan gelombang, batimetri, data tanah.

3. Pengolahan data lingkungan

Data lingkungan, data gelombang dan pasang surut, yang telah didapatkan kemudian diolah. Data gelombang signifikan yang diambil terlebih dahulu dihitung pengulangan periodik. Diambil data periodik 50 tahunan sebagai parameter desain. Data pasang surut terlebih dahulu ditentukan jenisnya. Kemudian dilakukan perhitungan dan didapatkan elevasi muka air laut.

4. Memodelkan transformasi gelombang

Tinggi gelombang signifikan periodik 50 tahun yang telah didapat kemudian digunakan sebagai tinggi gelombang pada laut dalam. Perubahan tinggi gelombang akibat refraksi dan shoaling sangat mempengaruhi desain pemecah gelombang. Untuk itu perlu dibuat model transformasi untuk mendapatkan tinggi gelombang desain pada lokasi desain. Permodelan dilakukan dengan bantuan *software* Surface-water Modelling System (SMS) modul CGWave yang dilakukan dengan *input* tiga arah dominan gelombang yaitu Barat Daya, Selatan dan Tenggara.

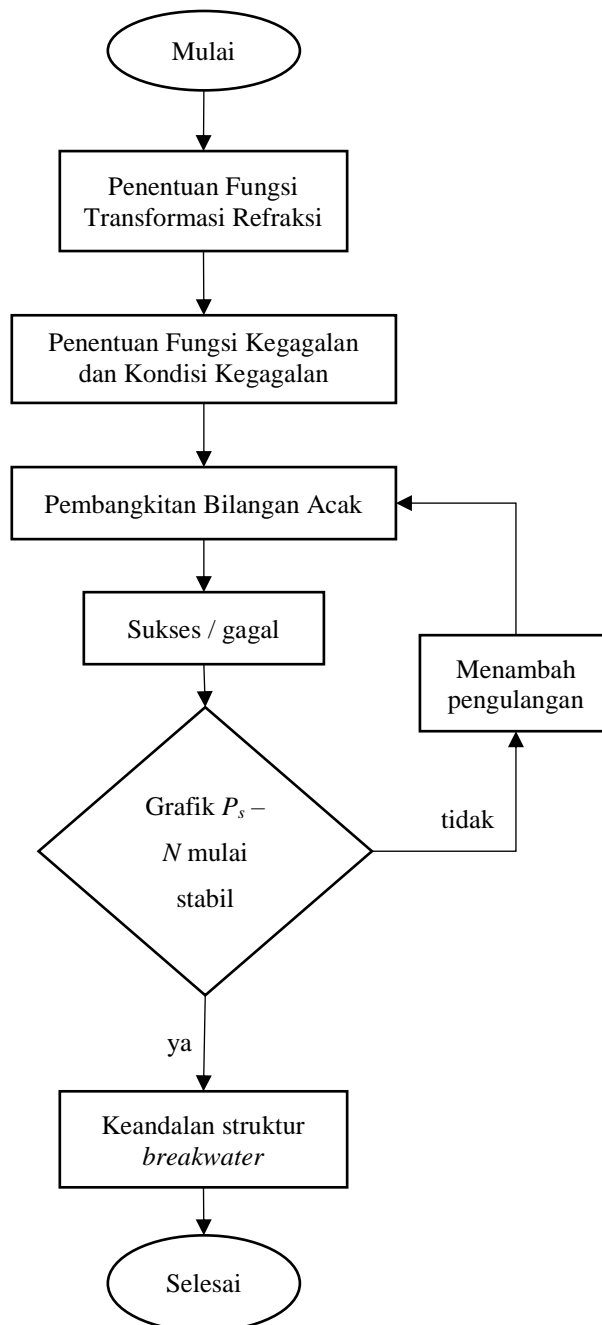
5. Membuat desain dan menambahkan variasi desain

Setelah mendapatkan tinggi gelombang desain pada area lokasi desain, kemudian dilakukan perhitungan desain ulang secara konvensional dengan menggunakan metode Hudson. Kemudian juga dilakukan desain modifikasi, yaitu desain ulang dengan

mengganti jenis pelindung dengan dua varian, yaitu BPPT-Lock dan tetrapod. Sehingga pada akhirnya akan ada tiga desain pemecah gelombang.

#### 6. Simulasi Monte Carlo

Dalam melakukan simulasi Monte Carlo, ada tahapan-tahapan kerja yang harus diikuti. Tahapan kerja tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan simulasi Monte Carlo

Agar proses simulasi tidak membingungkan, maka tahapan kerja pada Gambar 3.2 harus diikuti. Penjelasan dari tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Penentuan Fungsi Transformasi Gelombang

Saat melakukan simulasi, variabel acak tinggi gelombang signifikan yang dibangkitkan nantinya adalah tinggi gelombang signifikan saat berada di laut dalam. Artinya, gelombang akan mengalami transformasi saat mendekati ke lokasi struktur. Perhitungan transformasi gelombang tersebut dihitung dengan bantuan CGWave. Karena simulasi yang dilakukan sangat banyak, hingga mencapai ribuan, maka pemakaian *software* akan sangat merepotkan. Pembuatan fungsi transformasi gelombang ini akan mengubah pemakaian *software* menjadi fungsi sederhana yang mudah dioperasikan. Pembuatan fungsi transformasi ini menggunakan teori *Design of Experiment – Respons Surface Method*. Dilakukan beberapa eksperimen dengan berbagai kombinasi input dari variabel acak yang ada. Kemudian dengan hasil keluaran eksperimen dibuat persamaan yang menjelaskan model tersebut. Persamaan tersebut diuji kembali hingga cocok dan menunjukkan *error* yang kurang dari 5%. Persamaan dibuat untuk tiga titik pengamatan yang berbeda sehingga menghasilkan 3 persamaan berbeda untuk tiap arah datang gelombang.

b. Penentuan Fungsi Kegagalan dan Kondisi Kegagalan

Untuk dapat mengetahui apakah struktur dapat berfungsi dengan baik atau mengalami kegagalan saat terkena beban dari variabel acak, diperlukan suatu fungsi yang dapat menjelaskan kondisi struktur secara matematis. Untuk itu diperlukan fungsi kegagalan dari struktur. Fungsi kegagalan struktur pemecah gelombang diturunkan dari persamaan stabilitas Hudson. Dari fungsi tersebut kemudian dibuatkan penjelasan dari kondisi kapan struktur tersebut akan gagal dan kapan struktur tersebut akan sukses.

c. Pembangkitan Bilangan Acak

Keadaan ketidakpastian yang terjadi digambarkan dalam simulasi dengan menggunakan bilangan acak. Bilangan acak dibangkitkan untuk setiap variabel acak yaitu tinggi gelombang signifikan, periode gelombang signifikan dan arah datang gelombang. Masing-masing variabel acak telah ditentukan jenis distribusi datanya. Kemudian dengan menggunakan *Cummulative Distribution Function* (CDF) yang telah di-invers-kan, bilangan acak tersebut diubah dan didapatkan besar dari tiap-tiap variabel. Ketiga bilangan acak tersebut akan menjadi di-*input*-kan ke dalam fungsi

transformasi yang telah dibuat sebelumnya dan didapatkan tiga keluaran tinggi gelombang hasil transformasi. Dipilih tinggi gelombang tertinggi dari ketiga tinggi gelombang hasil transformasi tersebut untuk dijadikan tinggi gelombang desain.

d. Penentuan Keadaan Sukses / Gagal dari Struktur

Tinggi gelombang desain yang telah didapatkan kemudian dijadikan *input* dalam fungsi kegagalan yang telah ditentukan sebelumnya. Jika hasil dari perhitungan fungsi kegagalan melampaui batas kinerja struktur, maka struktur akan mengalami kegagalan dan akan disimbolkan dengan angka “0”. Sebaliknya jika hasil perhitungan fungsi kegagalan kurang dari batas kinerja struktur, maka struktur akan sukses dan disimbolkan dengan angka “1”.

e. Pembuatan Grafik Probabilitas Sukses dan Jumlah Pengulangan

Banyak kondisi struktur yang sukses dari tiap 500 pengulangan kemudian diakumulasi dan dihitung probabilitas suksesnya. Besar probabilitas sukses dan jumlah pengulangan kemudian di-*plot*-kan ke dalam grafik. Jika grafik masih fluktuatif atau tidak menunjukkan garis lurus stabil, maka simulasi diulangi dengan pengulangan yang dua kali lebih banyak dari sebelumnya. Pengulangan ini terus dilakukan hingga grafik tersebut membentuk garis lurus yang stabil. Kemudian jumlah pengulangan saat grafik tersebut mulai stabil dijadikan *input* pada perhitungan keandalan selanjutnya.

f. Perhitungan Keandalan

Saat grafik sudah mulai stabil, maka ketika pengulangan ke –  $N$  tersebut dihitung berapa banyak jumlah keadaan struktur sukses dan keadaan dan struktur gagal. Kemudian dari situ dapat dihitung keandalan dari struktur yang ada.

7. Kesimpulan dan saran

Setelah didapatkan nilai keandalan dari ketiga jenis struktur pemecah gelombang, kemudian penulis akan menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan menyusun laporan akhir sesuai dengan format penulisan tugas akhir.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 DATA

##### 4.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian berbasis keandalan ini mengambil lokasi studi pada pemecah gelombang di PLTU Sudimoro yang terletak di Pacitan, Jawa Timur. Data-data mengenai struktur didapatkan dari Laporan Pendahuluan Kajian *Breakwater* PLTU Pacitan 2017.



Gambar 4.1 Lokasi Studi Penelitian  
(sumber : google.com)

Struktur yang dijadikan objek penelitian adalah struktur pemecah gelombang yang ditandai lingkaran merah pada Gambar 4.1 dengan pelindung utama berupa dolos. Dimensi struktur pemecah gelombang dapat dilihat pada Tabel 4.1 akan tetapi tidak ada spesifikasi yang jelas mengenai dimensi dan berat dolos yang digunakan pada struktur pemecah gelombang tersebut.

Tabel 4.1 Dimensi Struktur Pemecah Gelombang

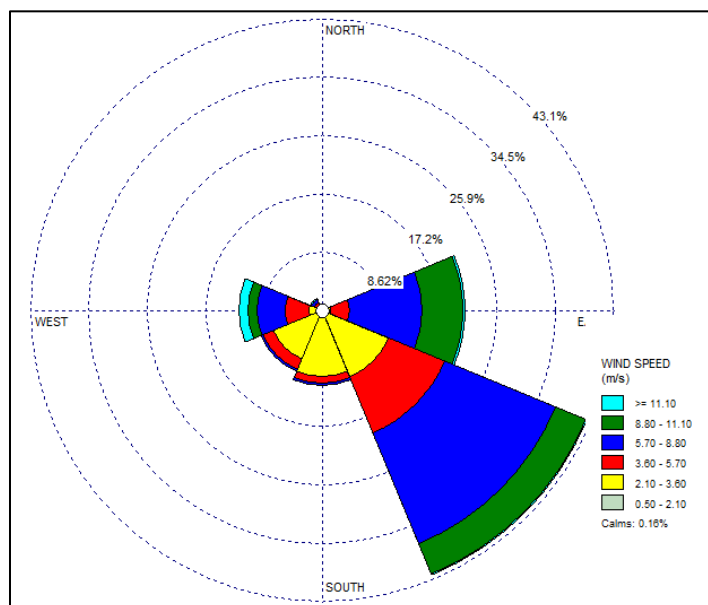
| Parameter                        | Simbol    | Besar | Satuan |
|----------------------------------|-----------|-------|--------|
| Elevasi Puncak Struktur          | El        | 8.984 | m      |
| Lebar Puncak Struktur            | B         | 16.6  | m      |
| Berat Dolos Pelindung utama      | W         | 15    | ton    |
| Berat Batu Lapis Pelindung Kedua | $W_{10}$  | 1.5   | ton    |
| Berat Batu Lapisan Inti          | $W_{200}$ | 0.075 | ton    |
| Tebal Lapis Pelindung Utama      | $t_1$     | 5     | m      |
| Tebal Lapis Pelindung kedua      | $t_2$     | 1.5   | m      |

(sumber : TIWTE, 2008)

#### 4.1.2 Data Lingkungan

Data lingkungan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu berupa data gelombang, data pasang surut dan data batimetri. Data angin didapatkan dari BMKG untuk lokasi Pacitan, Jawa Timur. Data tersebut berupa data arah dan kecepatan angin yang di rekam setiap 1 jam dalam rentang tahun 2005 – 2009 dan 2012 – 2016. Terdapat kekurangan data pada tahun 2010 dan 2011, sehingga khusus dua tahun tersebut tidak diikuti.

Data-data angin tersebut terlebih dahulu data angin tersebut dikelompokkan berdasarkan arah dan kecepatannya yang disajikan dalam mawar angin. Pembuatan mawar angin ini bertujuan untuk mengetahui arah angin dominan. Arah angin dominan ini nantinya akan digunakan sebagai arah gelombang yang dibangkitkan.



Gambar 4.2 Diagram Mawar angin 2005 – 2009 dan 2012 – 2016

Data gelombang didapatkan dari data angin yang diperoleh dari BMKG. Dari keseluruhan data tersebut, dipilih tinggi gelombang signifikan maksimal untuk tiap bulannya. Data tersebut bisa dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Tinggi Gelombang Signifikan Maksimal Tiap Bulan

|           | $H_{1/3}$ (m) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | 2005          | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Januari   | 1.71          | 2.61 | 2.31 | 3.04 | 1.99 | 4.58 | 3.72 | 2.23 | 2.75 | 1.49 |
| Februari  | 1.52          | 1.72 | 1.6  | 4.21 | 3.39 | 1.97 | 3.6  | 2.77 | 1.71 | 1.69 |
| Maret     | 1.66          | 1.85 | 3.76 | 1.67 | 1.78 | 4.67 | 2.99 | 2.59 | 2.13 | 1.25 |
| April     | 2.23          | 2.01 | 1.83 | 1.87 | 1.89 | 2.08 | 1.98 | 1.25 | 1.9  | 1.56 |
| Mei       | 2.19          | 1.75 | 2.09 | 2.37 | 1.99 | 3    | 2.02 | 1.94 | 2.3  | 1.6  |
| Juni      | 2.17          | 2.48 | 2.3  | 3.11 | 2.06 | 2.39 | 2.32 | 2.86 | 2.41 | 2.43 |
| Juli      | 2.37          | 2.56 | 2.42 | 2.66 | 2.35 | 2.37 | 3.05 | 2.43 | 1.99 | 2.32 |
| Agustus   | 2.44          | 2.44 | 2.43 | 2.55 | 2.26 | 2.08 | 2.25 | 2.54 | 2.15 | 2.27 |
| September | 2.24          | 1.7  | 1.97 | 2.03 | 2.03 | 1.7  | 2.03 | 2.16 | 1.69 | 2.03 |
| Oktober   | 1.96          | 1.69 | 1.79 | 1.95 | 2.15 | 1.71 | 1.83 | 1.72 | 1.77 | 2.77 |
| November  | 1.61          | 1.46 | 1.84 | 1.97 | 1.65 | 1.67 | 1.6  | 1.74 | 1.66 | 1.8  |
| Desember  | 1.65          | 1.98 | 2.87 | 1.97 | 1.6  | 1.52 | 1.83 | 1.78 | 1.86 | 1.44 |

Selain data tinggi gelombang signifikan, data periode gelombang juga diambil data periode gelombang signifikan maksimal untuk tiap bulannya. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Periode Gelombang Signifikan Maksimal Bulanan

|           | $T_{1/3}$ (s) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | 2005          | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Januari   | 7.48          | 7.70 | 7.19 | 7.31 | 7.66 | 8.55 | 7.62 | 6.93 | 7.17 | 6.96 |
| Februari  | 6.68          | 7.04 | 7.56 | 7.98 | 7.27 | 6.93 | 7.70 | 6.99 | 8.03 | 7.04 |
| Maret     | 7.17          | 7.17 | 7.17 | 7.17 | 7.17 | 7.17 | 7.17 | 7.17 | 7.17 | 7.17 |
| April     | 7.16          | 6.65 | 6.26 | 6.53 | 6.61 | 6.56 | 6.81 | 7.20 | 6.68 | 6.10 |
| Mei       | 6.20          | 6.02 | 6.14 | 6.45 | 7.07 | 7.17 | 7.91 | 6.99 | 6.79 | 6.50 |
| Juni      | 6.38          | 6.62 | 6.36 | 7.24 | 6.37 | 6.55 | 8.74 | 7.04 | 6.51 | 7.03 |
| Juli      | 6.40          | 6.86 | 6.49 | 6.99 | 6.37 | 6.56 | 7.20 | 6.56 | 6.81 | 6.74 |
| Agustus   | 6.67          | 6.60 | 6.56 | 6.73 | 6.41 | 6.19 | 6.46 | 6.71 | 6.33 | 6.27 |
| September | 6.20          | 7.18 | 6.10 | 6.19 | 6.52 | 6.24 | 6.32 | 6.32 | 6.24 | 6.81 |
| Oktober   | 6.92          | 6.56 | 6.24 | 7.41 | 6.50 | 6.86 | 6.84 | 6.69 | 6.12 | 6.75 |
| November  | 6.32          | 6.52 | 7.04 | 6.59 | 6.49 | 6.79 | 6.60 | 7.24 | 6.70 | 6.92 |
| Desember  | 6.52          | 6.39 | 6.94 | 6.66 | 7.09 | 6.68 | 7.73 | 7.30 | 6.27 | 6.58 |

Data pasang surut didapatkan dari “*Final Report The Technical Evaluation and Analysis of West Breakwater and Temporary Jetty for Pacitan*” data yang diambil adalah data pasang surut yang diukur pada Pantai Ngobyok. Data yang diberikan berupa konstanta harmonik M2, S2, K2, N2, K1, O1, P1 dan Q1 (lihat Tabel 4.4)

Tabel 4.4 Komponen Konstanta Pasang Surut di Pantai Ngobyok

| Komponen Pasang Surut | M2     | S2     | N2     | K2     | K1     | O1     | P1     | M4   | MS4    | SO     |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|
| Amplitudo (cm)        | 45.82  | 19.55  | 9.83   | 18.9   | 24.04  | 17.46  | 7.43   | 1.53 | 1.08   | 124.64 |
| Fase (°)              | 135.26 | -55.17 | 201.22 | -47.25 | 211.48 | 245.21 | 206.84 | 9.54 | 162.82 |        |

(sumber: Kwarsa Hexagon, 2017)

Untuk menentukan jenis pasang surut pada suatu daerah perlu ditentukan dengan besarnya bilangan Formzhal (F):

- $F < 0.25$  = semi-diurnal
- $0.25 < F < 1.50$  = campuran dominan semi-diurnal
- $1.50 < F < 3.00$  = campuran dominan diurnal
- $F > 3.00$  = diurnal

Bilangan Formzhal dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$f = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} = \frac{24.04 + 17.46}{45.82 + 19.22} = 0.63485$$

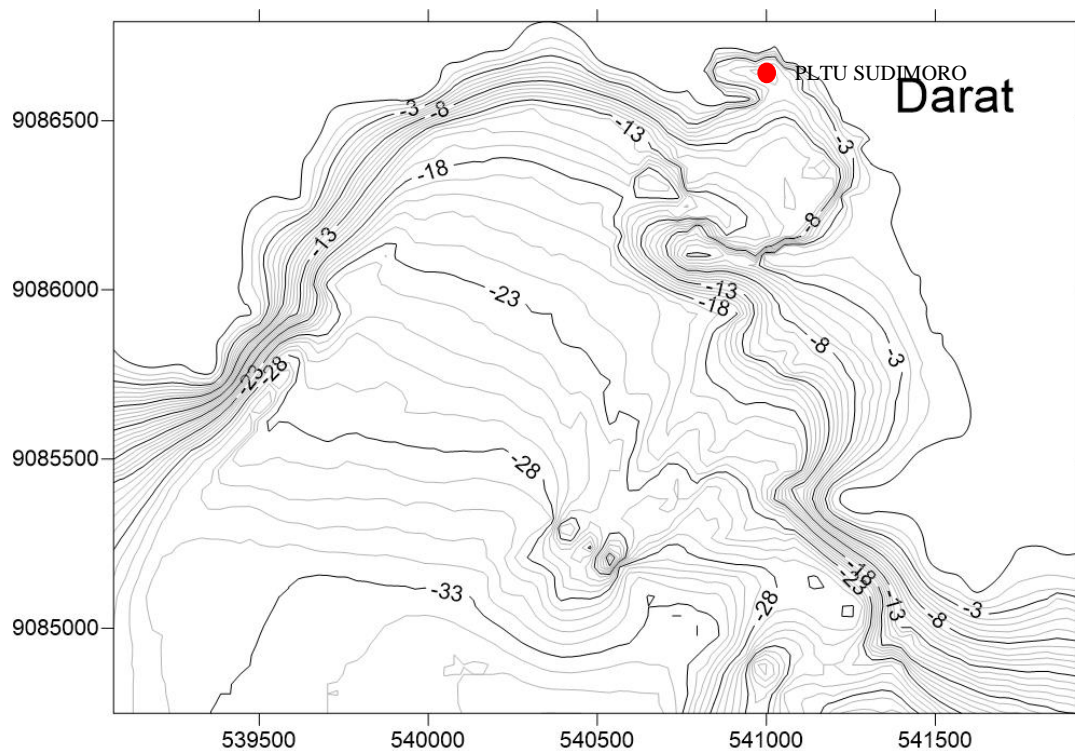
Sehingga jenis pasang surut pada pantai Ngobyok adalah **campuran dominan semi-diurnal**.

Dari konstanta-konstanta tersebut kemudian dapat dihitung tinggi elevasi permukaan laut seperti MHWL, MSL, dan lainnya. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tinggi elevasi permukaan laut akibat pasang surut

|                                | Persamaan                                   | Elevasi (m) |
|--------------------------------|---|-------------|
| Higher High Water Level (HHWL) | $Z_0 + (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$ | 2.71        |
| Mean High Water Level (MWL)    | $Z_0 + (M_2 + K_1 + O_1 + P_1)$             | 2.33        |
| Mean Sea Level (MSL)           | $Z_0$                                       | 1.46        |
| Mean Low Water Level (MLWL)    | $Z_0 - (M_2 + K_1 + O_1)$                   | 0.58        |
| Chart Datum Level (CDL)        | $Z_0 - (M_2 + K_1 + O_1 + P_1)$             | 0.39        |
| Lower Low Water Level (LLWL)   | $Z_0 - (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$ | 0.12        |
| Lowest Astronomical Tide (LAT) | $Z_0 - (\text{semua konstanta})$            | 0.00        |

Batimetri perairan Pacitan didapatkan dari album gambar “Laporan Penguatan *Breakwater Permanen Jetty dan Temporary Jetty* PT. PJB LBJOM PLTU Pacitan”.



Gambar 4.3 Batimetri , Pacitan Jawa Timur  
(Sumber: Armono, dkk, 2017)

## 4.2 ANALISIS DATA LINGKUNGAN

### 4.2.1 Penentuan Distribusi Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan

Analisis data gelombang jangka panjang memberikan distribusi teoritis untuk kemungkinan terjadinya gelombang dengan parameter tertentu selama beberapa tahun. Analisis yang sering dilakukan yaitu untuk data ketinggian gelombang. Analisis ini dilakukan dengan melihat kepada data-data tinggi gelombang yang telah terjadi selama beberapa tahun atau dekade sebelumnya. Dalam Tugas Akhir ini, data tinggi gelombang yang analisis adalah data tinggi gelombang signifikan. Data gelombang signifikan yang ada pada Tabel 4.2 terlebih dahulu diurutkan dari tinggi gelombang signifikan tertinggi ke terendah. Dari Tabel 4.2 tersebut kemudian didapatkan beberapa parameter berikut ini:

$$N = 120$$

$$H_{avg} = \frac{261.69}{120} = 2.181$$

#### 4.2.1.1 Metode Gumbel

data gelombang yang telah diurutkan kemudian dituliskan ke dalam bentuk tabel, kemudian dilakukan perhitungan Q dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{i - c_1}{N + c_2}$$

$i$  adalah urutan titik data,  $N$  adalah banyak data,  $c_1$  dan  $c_2$  merupakan konstanta bias untuk tiap-tiap jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

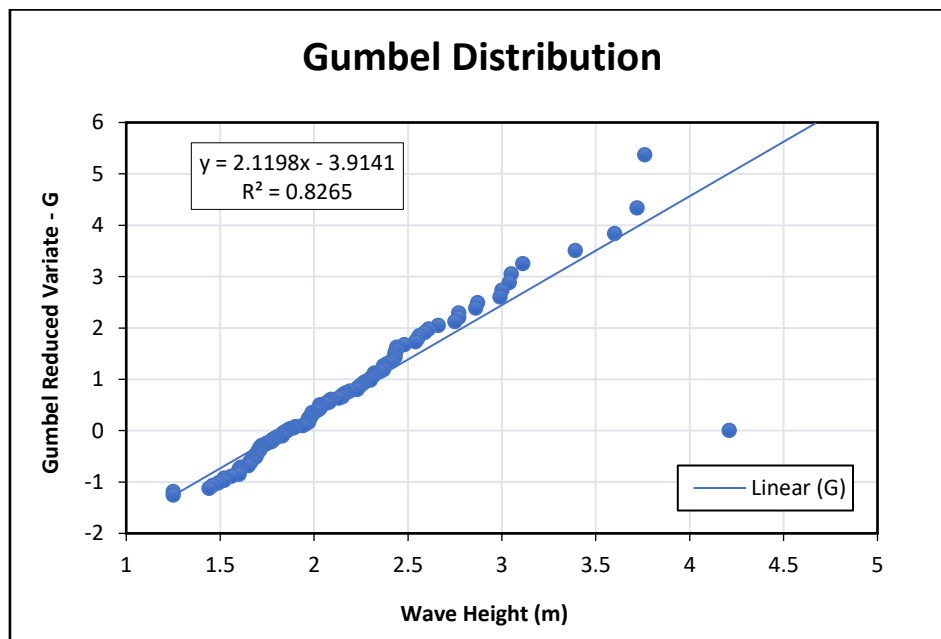
Tabel 4.6 Konstanta bias masing-masing distribusi

| Jenis Distribusi | $c_1$ | $c_2$ |
|------------------|-------|-------|
| Normal           | 0.375 | 0.375 |
| Log Normal       | 0.25  | 0.125 |
| Gumbel           | 0.44  | 0.12  |
| Weibull          | 0.47  | 0.43  |

(Sumber: Kamphuis, 2000)

Besar  $Q$  dihitung sesuai dengan urutan data. Kemudian dihitung pula probabilitas ( $P = 1 - Q$ ) serta *Gumbel Reduced Variate*  $G = Y = -\ln\left(\ln\frac{1}{P}\right)$ . Hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A Tabel A.1.

Kolom  $G$  kemudian diplotkan ke dalam grafik dibandingkan dengan tinggi gelombang signifikan yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.

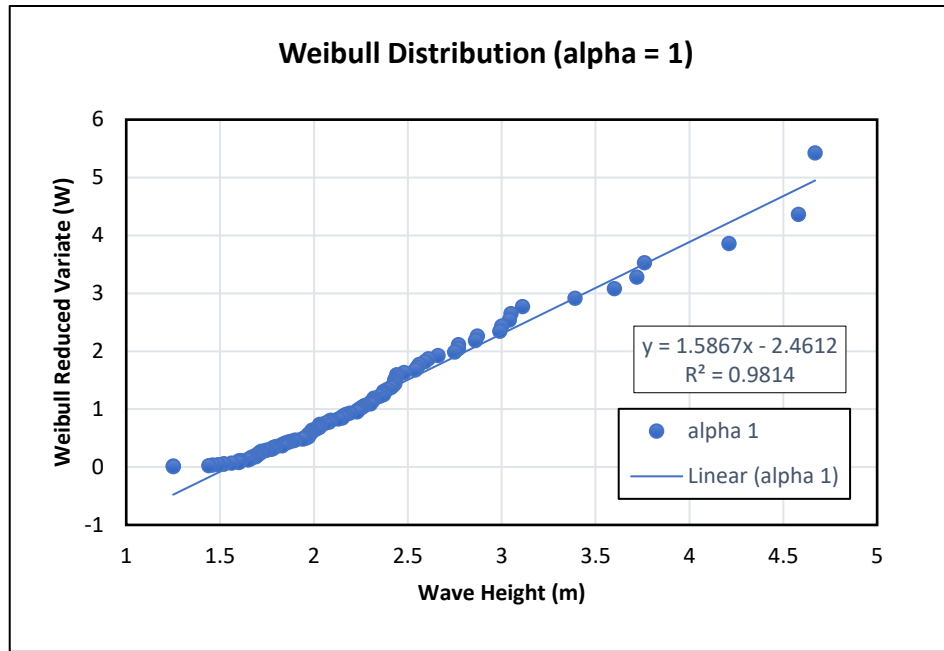


Gambar 4.4 Distribusi Gumbel untuk set data Tinggi Gelombang Signifikan terurut. Kecocokan data dan garis ditunjukkan dengan  $R^2$  yang jika bernilai 1 data dan garis cocok sempurna. Pada distribusi Gumbel bisa dilihat pada Gambar 4.4 bahwa nilai  $R^2 = 0.8265$ ; dengan persamaan garis:

$$y = 2.1198x - 3.9141 \quad (4.1)$$

#### 4.2.1.2 Metode Weibull

Penentuan jenis distribusi menggunakan metode Weibull memiliki langkah pengerjaan yang sama dengan metode Gumbel, hanya saja ada beberapa penyesuaian pada persamaan-persamaan yang digunakan. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A Tabel A.2.



Gambar 4.5 Distribusi Weibull ( $\alpha = 1$ ) untuk set data terurut

Dari Gambar 4.5 didapatkan  $R^2 = 0.9814$ ; dengan persamaan garis yaitu:

$$y = 1.5867x - 2.4612 \quad (4.2)$$

Maka dari kedua jenis distribusi, distribusi Weibull ( $\alpha = 1$ ) memiliki kecocokan yang lebih baik dibanding distribusi Gumbel. Sehingga untuk ekstrapolasi digunakan persamaan garis dari distribusi Weibull.

#### 4.2.2 Perhitungan Periode Ulang Gelombang

Setelah diketahui bahwa data yang digunakan cocok dengan jenis distribusi Weibull, kemudian dilakukan ekstrapolasi untuk menghitung periode ulang gelombang dengan menggunakan persamaan garis dari distribusi Weibull. Dari Persamaan (2.6) bisa didapatkan nilai dari parameter  $\beta$  dan  $\gamma$  dengan merujuk kepada Persamaan

$$A = \frac{1}{\beta} \quad \beta = \frac{1}{A} = \frac{1}{1.5867} = 0.63$$

$$B = -\frac{\gamma}{\beta} \quad \gamma = -\beta \times B = 0.63 \times 2.4612 = 1.55$$

Kemudian dengan menggunakan Persamaan (2.9) bisa dihitung tinggi gelombang untuk masing-masing periode ulang 1 tahun, 20 tahun, 30 tahun, 50 tahun dan 100 tahun seperti yang bisa dilihat pada Tabel 4.7. Untuk perhitungan periode gelombang bisa menggunakan persamaan berikut:

$$T = 3.54H_{Tr}^{0.61}$$

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Gelombang Periode Ulang dengan Metode Weibull

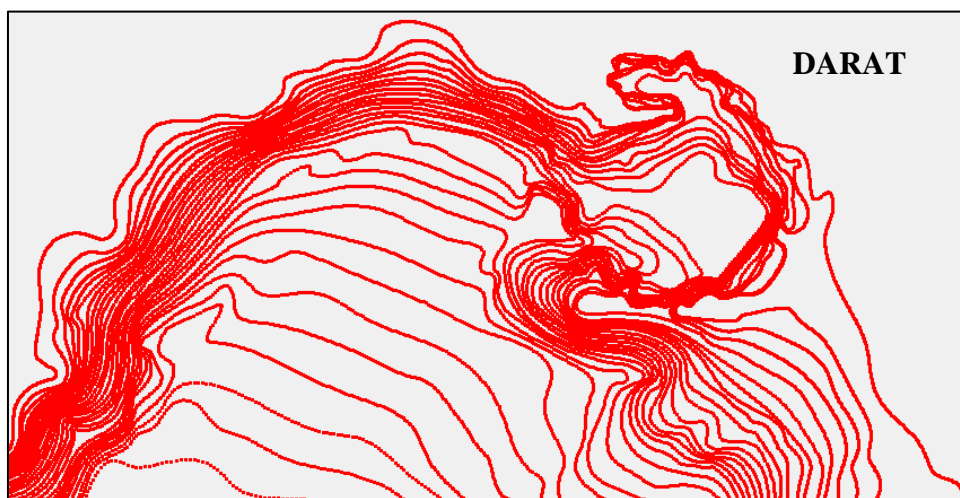
| No. | Periode Ulang (tahun) | H (m) | T (s) |
|-----|-----------------------|-------|-------|
| 1   | 1                     | 2.33  | 5.93  |
| 2   | 20                    | 4.22  | 8.51  |
| 3   | 30                    | 4.47  | 8.83  |
| 4   | 50                    | 4.79  | 9.21  |
| 5   | 100                   | 5.23  | 9.71  |

### 4.2.3 Transformasi Gelombang

Perhitungan transformasi gelombang dilakukan dengan bantuan *software Surface Water Level Modelling* (SMS) menggunakan modul CGWave. Dalam menggunakan modul ini, ada dua tahapan yang harus dikerjakan. Pertama membuat *meshing* dengan menggunakan data batimetri di lokasi penelitian. Kedua melakukan simulasi transformasi gelombang dengan menggunakan *meshing* yang telah dibuat.

#### 4.2.3.1 Meshing Lokasi Penelitian

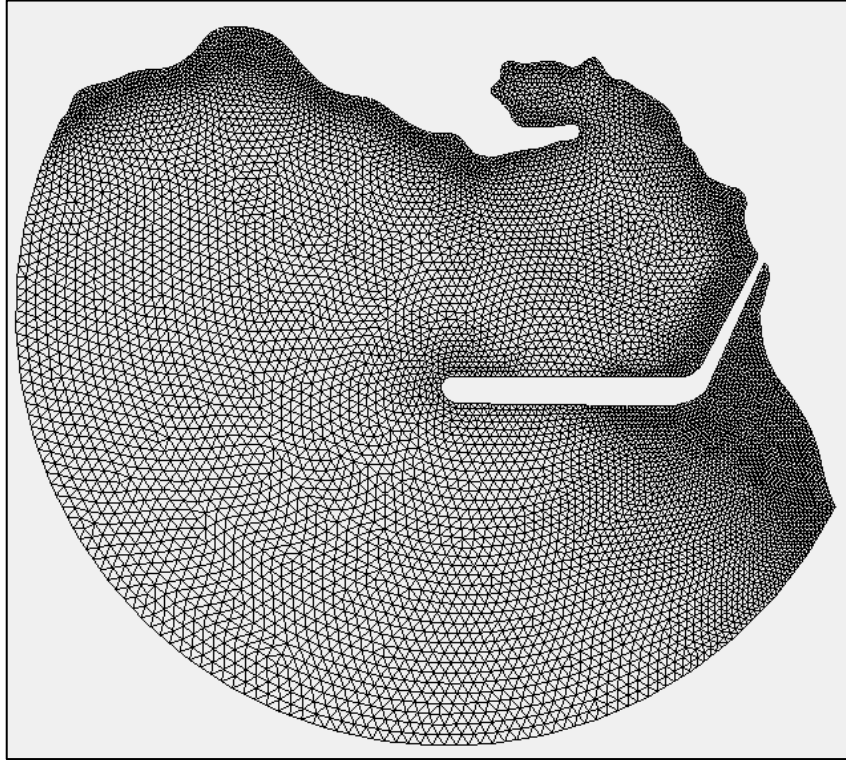
Data batimetri dari lokasi dimasukkan ke dalam SMS. Data batimetri yang dimasukkan dalam bentuk UTM. Setelah batimetri dimasukkan ke SMS, secara otomatis ia akan berubah menjadi *scatter* seperti pada Gambar 4.6.



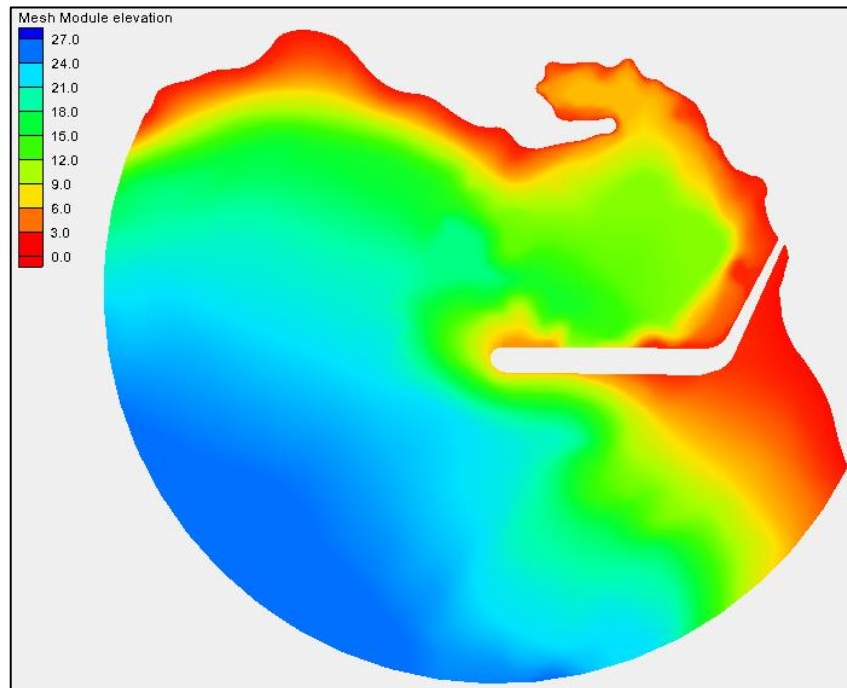
Gambar 4.6 Scatter model



Setelah membuat *scatter* selanjutnya adalah membuat *boundary condition* yaitu garis pantai dan *open ocean*. Kemudian dilanjutkan ke modul *meshing* yang berupa *wave function* dan *size function*.



(a)



(b)

Gambar 4.7 Hasil *meshing* model (a) bentuk *meshing* (b) *meshing modul depth*

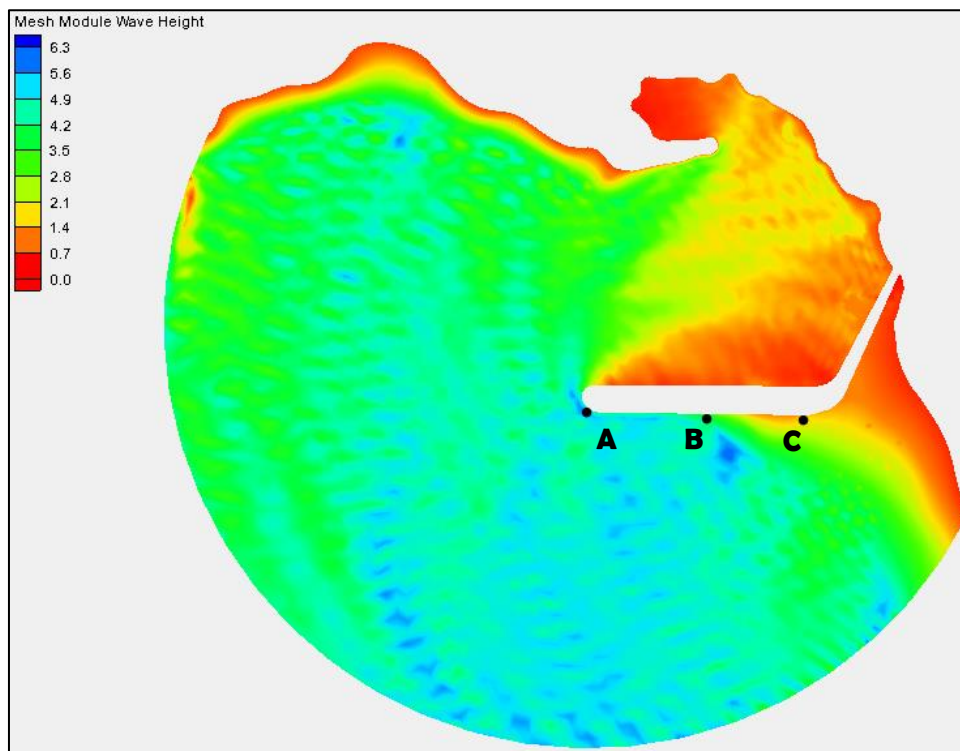
#### 4.2.3.2 Permodelan Gelombang

Hasil *meshing* yang didapatkan selanjutnya digunakan untuk permodelan gelombang. Gelombang yang digunakan untuk permodelan adalah gelombang periodik dengan periode ulang 50 tahun dengan arah Selatan. *Input* parameter pada CGWave model dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. *Input parameter* pada CGWave (arah datang Selatan)

| PARAMETER           | INPUT         |
|---------------------|---------------|
| Arah                | Selatan (90°) |
| Tinggi Gelombang    | 4.79 m        |
| Amplitudo Gelombang | 2.395 m       |
| Periode Gelombang   | 9.21 s        |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi  |

Setelah memasukkan parameter *input* kemudian model baru bisa diproses. Hasil dari *running* CGWave dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Hasil permodelan tinggi gelombang dari arah selatan

Setelah melakukan *running* untuk permodelan transformasi gelombang, kemudian dipilih tiga titik pengamatan yang berada di sekitar lokasi desain struktur, lihat Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Tinggi Gelombang Akibat Transformasi (arah datang Selatan)

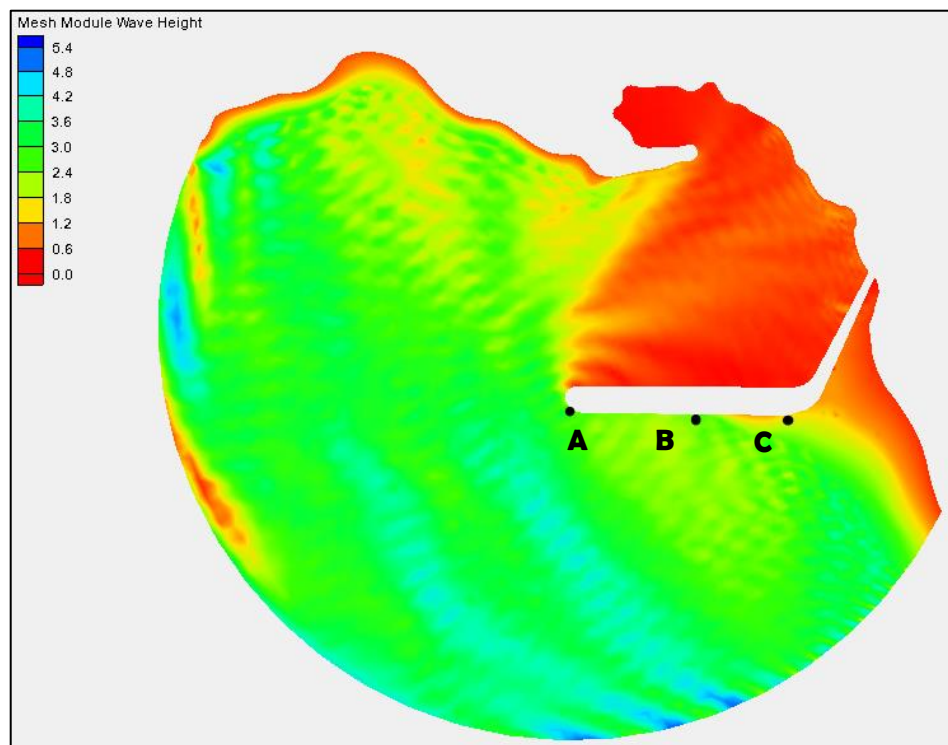
| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 5.86  |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 4.13  |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.46  |

Untuk permodelan dengan arah datang gelombang Tenggara dilakukan dengan cara yang sama, hanya saja pada *input parameter* diganti arahnya menjadi Tenggara (135°)

Tabel 4.10. *Input parameter* pada CGWave (arah datang Tenggara)

| PARAMETER           | INPUT           |
|---------------------|-----------------|
| Arah                | Tenggara (135°) |
| Tinggi Gelombang    | 4.79 m          |
| Amplitudo Gelombang | 2.395 m         |
| Periode Gelombang   | 9.21 s          |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi    |

Hasil *running* model CGWave untuk arah Tenggara dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Hasil permodelan tinggi gelombang dari arah Tenggara

Pengamatan juga dilakukan pada titik di lokasi yang sama yaitu pada titik A, B, C. Tinggi gelombang untuk masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 4.11

Tabel 4.11. Tinggi Gelombang Akibat Transformasi (arah datang Tenggara)

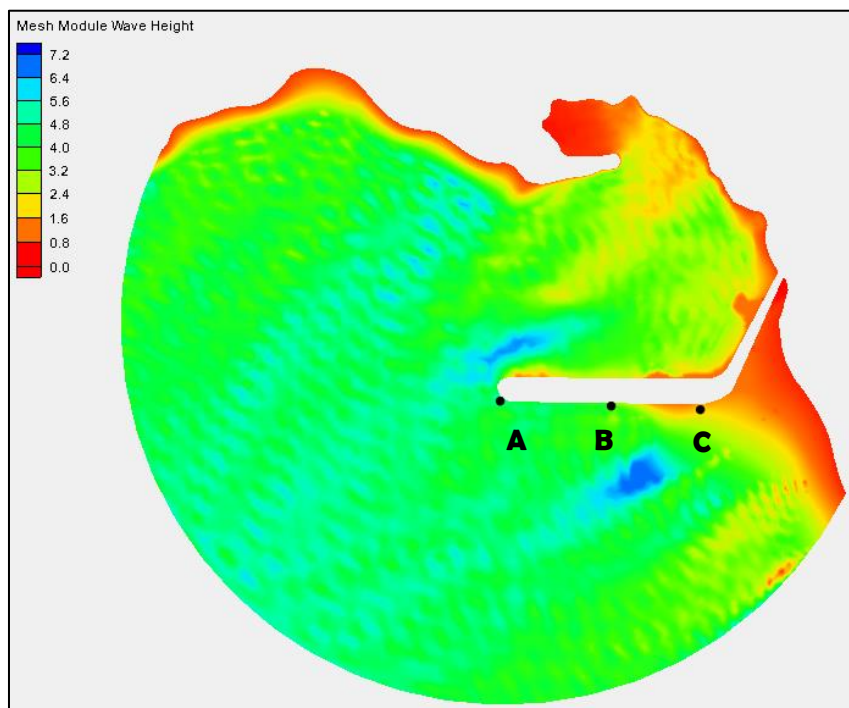
| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 2.51  |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 2.18  |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.21  |

Terakhir adalah permodelan untuk arah Barat Daya. Sama seperti sebelumnya pada *input parameter* hanya perlu mengganti arah datang menjadi Barat Daya (45°) lihat Tabel 4.12.

Tabel 4.12. *Input parameter* pada CGWave (arah datang Barat Daya)

| PARAMETER           | INPUT            |
|---------------------|------------------|
| Arah                | Barat Daya (45°) |
| Tinggi Gelombang    | 4.79 m           |
| Amplitudo Gelombang | 2.395 m          |
| Periode Gelombang   | 9.21 s           |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi     |

Hasil *running* model CGWave untuk arah Barat Daya dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Hasil permodelan tinggi gelombang dari arah Barat Daya

Seperti sebelumnya pengamatan dilakukan di tiga titik yang sama. Tinggi gelombang pada titik A, B, dan C dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Tinggi Gelombang Akibat Transformasi (arah datang Barat Daya)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 4.48  |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 2.81  |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.04  |

Dari keseluruhan permodelan, tinggi gelombang tertinggi terjadi pada titik A dengan arah datang gelombang selatan yaitu **5.86 m**. Selanjutnya tinggi gelombang ini dijadikan sebagai acuan dalam mendesain.

### 4.3 DESAIN STRUKTUR PEMECAH GELOMBANG

#### 4.3.1 Elevasi Pemecah Gelombang

Elevasi puncak pemecah gelombang dihitung dengan menjumlahkan tinggi rata-rata pasang tertinggi dengan *run up* gelombang serta menambahkan *set up* sebesar 0.5 m (Triadmojo, 1999).

$$El = MHWL + R_u + 0.5 \quad (4.3)$$

Sebelum itu terlebih dahulu harus dihitung *run up* tertinggi yang dicapai oleh gelombang. *Run up* yang terjadi berbeda untuk tiap-tiap jenis unit pelindung. Ini akan memberikan hasil elevasi yang berbeda pula untuk tiap-tiap jenis pemecah gelombang.

Dalam menghitung *run up* terlebih dahulu harus ditentukan bilangan iribarren-nya dengan menggunakan Persamaan (2.15).

$$I_r = \frac{\tan \theta}{(H/L_0)^{0.5}} = \frac{1/1.5}{(4.63/132.391)^{0.5}} = 3.565 = 3.6$$

Kemudian bilangan *iribarren* tersebut diplotkan ke dalam grafik *Run Up* Gelombang pada Gambar 2.7. Caranya yaitu dengan menarik garis lurus vertikal dari titik 3.6 pada sumbu *x*. Garis tersebut ditarik hingga memotong kurva pelindung yang digunakan. Kemudian dari perpotongan itu ditarik garis horizontal ke arah sumbu *y* dan didapatkan  $R_u/H$ .

Setelah mendapatkan besar bilangan tak berdimensi  $R_u/H$ , kemudian *run up* untuk jenis pelindung dolos dan tetrapod dapat dihitung dengan mengalikan bilangan tak berdimensi  $R_u/H$  dengan ketinggian gelombang (*H*), setelah itu elevasi pemecah gelombang

dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4.3). untuk BPPT-Loc *run up* disamakan dengan dolos.

Tabel 4.14. *Run Up* dan Elevasi Pemecah Gelombang

| No. | Jenis Pelindung | R/H <sub>s</sub> | R (m) | El (m) |
|-----|-----------------|------------------|-------|--------|
| 1   | Dolos           | 1                | 5.86  | 8.69   |
| 2   | BPPT - Lock     | 1                | 5.86  | 8.69   |
| 3   | Tetrapod        | 0.77             | 4.51  | 7.34   |

#### 4.3.2 Berat Batu Pelindung

Bangunan pemecah gelombang didesain dengan kemiringan 1:1.5 dan dengan pelindung sebanyak dua lapisan. Lapisan pelindung utama (terluar) didesain dengan menggunakan dua lapis dolos, untuk lapisan di bawahnya (primer) menggunakan dua lapis batu dengan berat 1/10 dari berat pelindung utama. Bagian inti didesain dengan batu dengan berat 1/200 dari berat lapisan pelindung utama.

Berat unit pelindung utama dapat dihitung dengan formula Hudson pada Persamaan (2.10). Koefisien stabilitas Hudson ( $K_D$ ) untuk masing-masing jenis unit pelindung dapat dilihat pada Tabel 2.1. Karena ketiga unit pelindung dibuat dengan material beton, maka berat jenis ( $\gamma_r$ ) ketiga unit pelindung adalah sama dengan berat jenis beton yaitu 2.4 ton/m<sup>3</sup>. Selanjutnya untuk berat batu pada lapisan pertama dan lapisan inti kemudian tinggal membagi berat unit pelindung utama masing-masing dengan 10 dan 200. Hasil perhitungan berat unit pelindung utama ketiga material dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Perhitungan berat unit pelindung utama

| No. | Jenis Unit Pelindung Utama | K <sub>D</sub> | W (ton) | W <sub>10</sub> (ton) | W <sub>200</sub> (ton) |
|-----|----------------------------|----------------|---------|-----------------------|------------------------|
| 1   | Dolos                      | 15             | 8.89    | 0.89                  | 0.04                   |
| 2   | BPPT Loc                   | 17             | 7.85    | 0.78                  | 0.04                   |
| 3   | Tetrapod                   | 8              | 16.67   | 1.67                  | 0.08                   |

Untuk pelindung kaki digunakan batu sebagai lapis pelindungnya. Berat batu pelindung kaki dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan(2.16). Berat jenis batu ( $\gamma_r$ ) yaitu 2.650 ton/m<sup>3</sup> dan besar angka stabilitas ( $N_s^3$ ) dapat ditentukan dengan grafik (c) pada Gambar 2.8. Struktur didesain dengan kedalaman permukaan kaki dari LWS yaitu  $h_b = 6.5$ ; sehingga perbandingan rasio kedalaman  $h_b/h_s = 6.5/9 = 0.722$ ; kemudian pada Gambar 2.8 ditarik garis vertikal dari titik 0.722 pada sumbu  $x$  hingga memotong grafik (c) dan didapatkan  $N_s^3$  sebesar 45.

Tabel 4.16. Perhitungan Berat Batu Pelindung

| No. | Jenis Unit Pelindung Utama | $N_s^3$ | $W_t$ (ton) |
|-----|----------------------------|---------|-------------|
| 1   | Dolos                      | 45      | 2.974       |
| 2   | BPPT Loc                   | 45      | 2.974       |
| 3   | Tetrapod                   | 45      | 2.974       |

#### 4.3.3 Lebar Puncak Pemecah Gelombang

Perhitungan lebar puncak pemecah gelombang (B) dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.12). Dibutuhkan koefisien lapis ( $k\Delta$ ) untuk perhitungan ini. Koefisien lapis dapat dilihat pada Tabel 2.2. Untuk unit BPPT-Loc, mengacu kepada koefisien lapis XBloc. Kemudian untuk jumlah batu (n) digunakan nilai minimum yaitu tiga buah batu ( $n = 3$ ). Hasilnya perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Perhitungan Lebar Puncak Pemecah Gelombang

| No. | Jenis Unit Pelindung Utama | n | $k\Delta$ | W (ton) | B (m) |
|-----|----------------------------|---|-----------|---------|-------|
| 1   | Dolos                      | 3 | 1         | 8.892   | 4.4   |
| 2   | BPPT Loc                   | 3 | 0.95      | 7.846   | 4.1   |
| 3   | Tetrapod                   | 3 | 1.04      | 16.672  | 5.9   |

#### 4.3.4 Lebar Kaki Pelindung Pemecah Gelombang

Perhitungan lebar kaki pelindung pemecah gelombang dilakukan sesuai dengan keadaan pada Gambar 2.8 (c) yaitu  $B = 3t'$ ; di mana  $t'$  merupakan tebal yang dihitung lapisan yang dihitung dengan menggunakan berat  $1/50$  ( $W_{50}$ ) dari berat unit pelindung utama.

Tabel 4.18. Perhitungan lebar kaki pelindung

| No. | Jenis Unit Pelindung Utama | $W_{50}$ (ton) | $t'$ (m) | $B_t$ (m) |
|-----|----------------------------|----------------|----------|-----------|
| 1   | Dolos                      | 0.178          | 1.5      | 4.6       |
| 2   | BPPT Loc                   | 0.157          | 1.5      | 4.4       |
| 3   | Tetrapod                   | 0.333          | 1.9      | 5.6       |

#### 4.3.5 Tebal Lapisan

Perhitungan tebal lapisan pelindung utama dan lapisan kedua pemecah gelombang dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.13). Untuk jumlah lapis batu digunakan minimum yaitu dua lapis batu untuk tiap-tiap lapisan dan untuk tebal tiap lapisnya digunakan



berat unit pelindung dan batu masing-masing. Adapun hasil perhitungan tebal lapisan untuk pemecah gelombang dengan pelindung utama dolos dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Pemecah Gelombang Dolos

| Lapisan | Jenis Unit Pelindung | N | $k\Delta$ | $\gamma_r$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | W<br>(ton) | t<br>(m) |
|---------|----------------------|---|-----------|-------------------------------------|------------|----------|
| 1       | Dolos                | 2 | 1         | 2.400                               | 8.892      | 2.8      |
| 2       | Batu                 | 2 | 1.15      | 2.650                               | 0.889      | 1.6      |

Untuk pemecah gelombang dengan pelindung utama BPPT – Lock hasil perhitungan tebal masing-masing lapisannya dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Pemecah Gelombang BPPT-Lock

| Lapisan | Jenis Unit Pelindung | N | $k\Delta$ | $\gamma_r$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | W<br>(ton) | t<br>(m) |
|---------|----------------------|---|-----------|-------------------------------------|------------|----------|
| 1       | BPPT-Lock            | 1 | 0.95      | 2.400                               | 7.846      | 2.6      |
| 2       | Batu                 | 2 | 1.15      | 2.650                               | 0.785      | 1.5      |

Terakhir untuk pemecah gelombang dengan pelindung utama tetrapod hasil perhitungan tebal masing-masing lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Pemecah Gelombang Tetrapod

| Lapisan | Jenis Unit Pelindung | N | $k\Delta$ | $\gamma_r$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | W<br>(ton) | t<br>(m) |
|---------|----------------------|---|-----------|-------------------------------------|------------|----------|
| 1       | Tetrapod             | 2 | 1.04      | 2.400                               | 16.672     | 3,7      |
| 2       | Batu                 | 2 | 1.15      | 2.650                               | 1.667      | 2.0      |

#### 4.3.6 Perbandingan Desain

##### 4.3.6.1 Perbandingan Desain Penulis dan Desain *Existing*

Setelah selesai melakukan perhitungan desain, kemudian hasil perhitungan desain penulis dengan jenis pelindung utama dolos dibandingkan dengan desain rencana yang memiliki jenis pelindung utama yang sama. Perbandingan kedua desain dapat dilihat pada Tabel 4.22

Tabel 4.22 Perbandingan desain rencana dan desain I

|                | El<br>(m) | B<br>(m) | W<br>(ton) | W <sub>10</sub><br>(ton) | W <sub>200</sub><br>(ton) | t <sub>1</sub><br>(m) | t <sub>2</sub><br>(m) |
|----------------|-----------|----------|------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Re-Desain      | 8.69      | 4.64     | 8.89       | 0.89                     | 0.04                      | 2.96                  | 1.54                  |
| Desain Rencana | 8.98      | 16.60    | 15.00      | 1.50                     | 0.08                      | 5.00                  | 1.50                  |
| Perbandingan   | 1.03      | 3.57     | 1.69       | 1.69                     | 1.69                      | 1.69                  | 0.97                  |



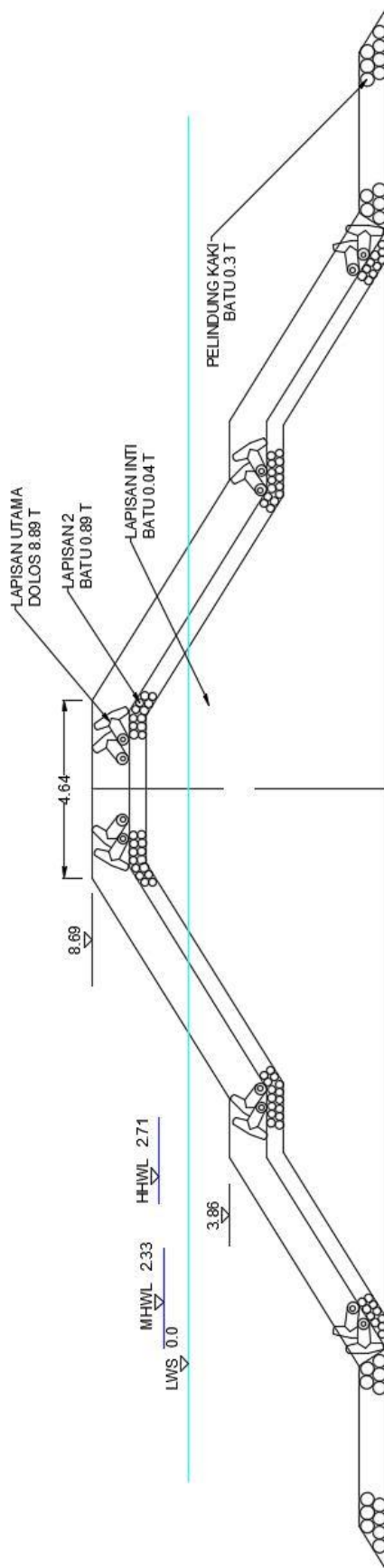
#### 4.3.6.2 Perbandingan Desain Tiga Unit Pelindung Berbeda

Hasil perhitungan ketiga desain dengan unit pelindung yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 4.25.

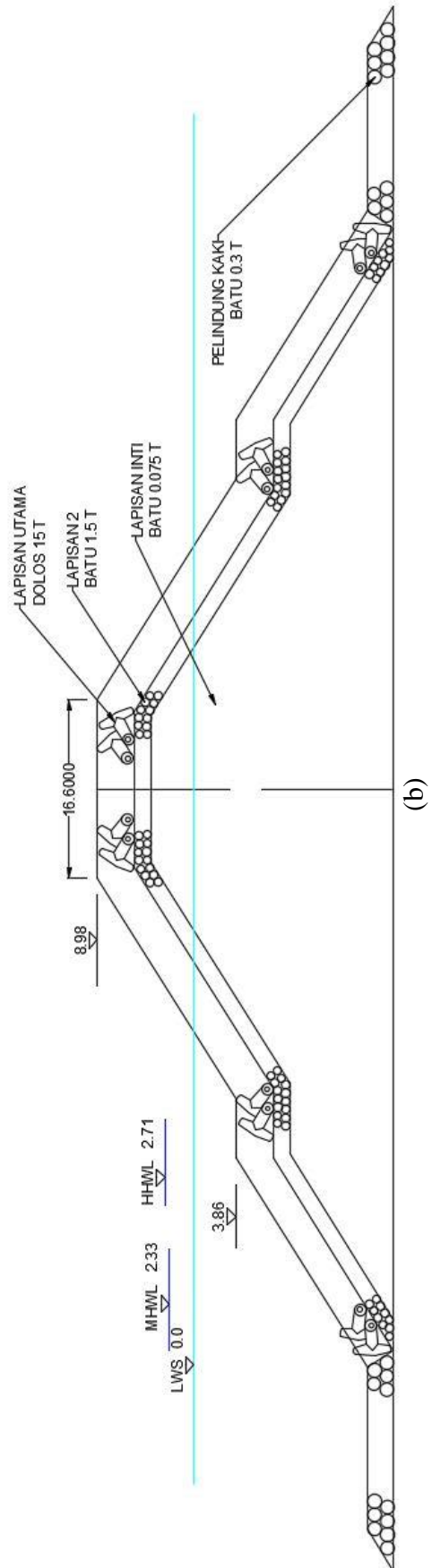
Tabel 4.23 Perbandingan desain I, II dan III

| Parameter | satuan | Dolos | BPPT-Lock | Tetrapod |
|-----------|--------|-------|-----------|----------|
| El        | m      | 8.69  | 8.69      | 7.34     |
| B         | m      | 4.36  | 4.14      | 5.95     |
| $W_1$     | ton    | 8.89  | 7.85      | 16.67    |
| $W_{10}$  | ton    | 0.89  | 0.78      | 1.67     |
| $W_{200}$ | ton    | 0.04  | 0.04      | 0.08     |
| $t_1$     | m      | 2.78  | 2.58      | 3.72     |
| $t_2$     | m      | 1.60  | 1.53      | 1.97     |
| $W_t$     | ton    | 2.97  | 2.97      | 2.97     |
| $B_t$     | m      | 4.6   | 3.60      | 5.6      |
| $t_t$     | m      | 2.39  | 1.93      | 2.39     |

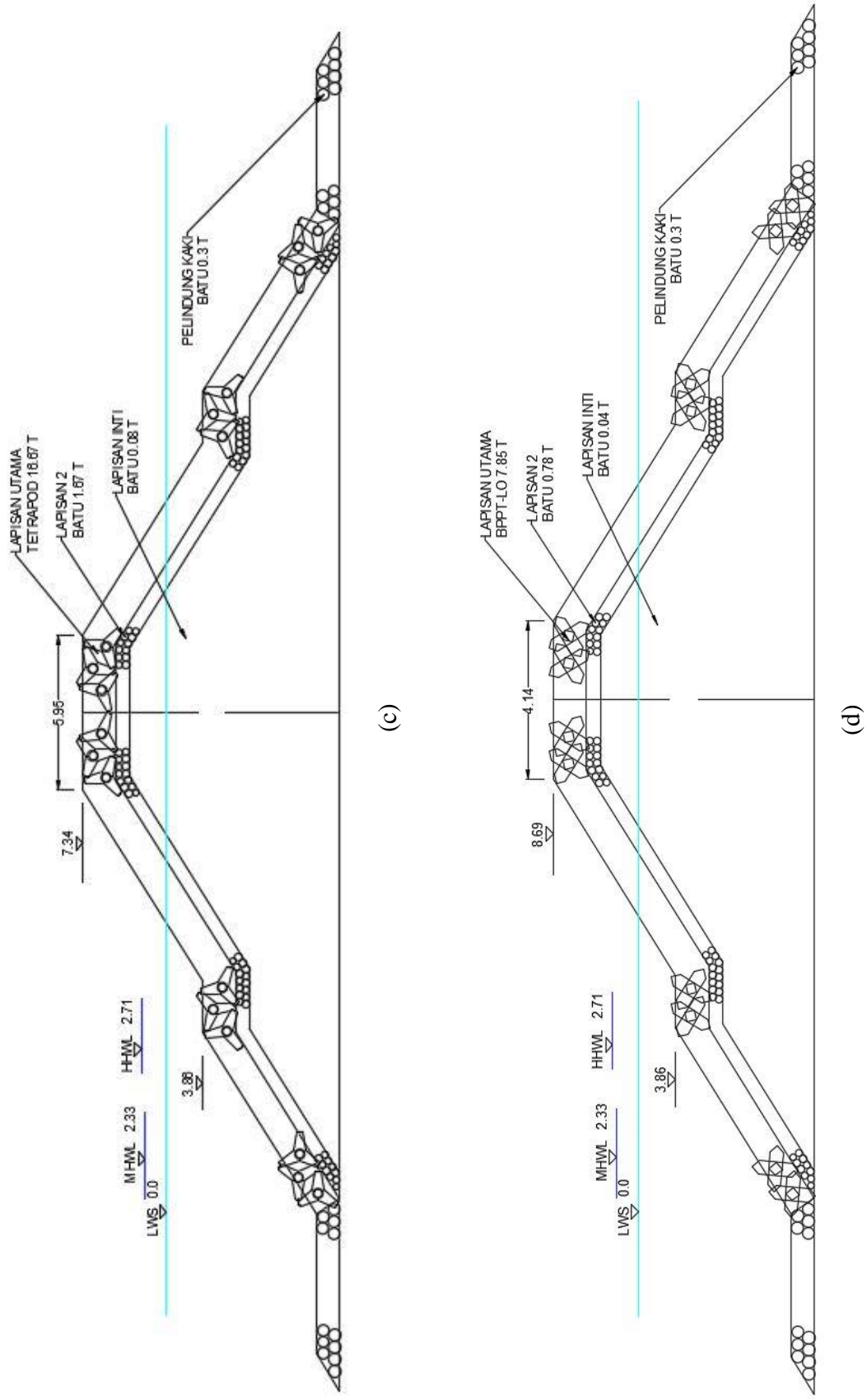
Gambar keempat desain penampang melintang struktur pemecah gelombang dapat dilihat pada Gambar 4.11 (a), (b), (c) dan (d).



(a)



(b)



Gambar 4.11. Desain Penampang Pemecah Gelombang (a) Desain I Penulis (b) Desain Rancangan (c) Desain II Penulis (d) Desain III Penulis

## 4.4 SIMULASI MONTE CARLO

### 4.4.1 Penentuan Fungsi Kegagalan

Mode kegagalan stabilitas hidrolik bangunan pemecah gelombang *rubble mound* dalam Tugas Akhir ini menggunakan mode kegagalan stabilitas Hudson. Persamaan stabilitas Hudson yaitu:

$$\frac{H_d}{\Delta D_n} = \sqrt[3]{K_D \cot \theta} \quad (4.4)$$

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma_r}}$$

di mana:

$$\Delta : \gamma_r / \gamma_a - 1$$

$$D_n : \text{diameter unit pelindung}$$

Dari Persamaan didapatkan fungsi kinerja dari struktur yaitu:

$$D_n = \frac{H_d}{\Delta (\sqrt[3]{K_D \cot \theta})} \quad (4.5)$$

Karena terdapat 4 jenis struktur, maka setiap struktur memiliki batas minimal kinerja masing-masing.

- Desain rencana

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{15}{2.4}} = 1.84 \text{ m}$$

Maka desain rencana akan mengalami kegagalan jika  $D_n < 1.842 \text{ m}$

- Desain I Penulis (dolos)

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{8.89}{2.4}} = 1.547 \text{ m}$$

Maka Desain I Penulis akan mengalami kegagalan jika  $D_n < 1.547 \text{ m}$

- Desain II Penulis (tetrapod)

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{16.67}{2.4}} = 1.908 \text{ m}$$

Maka Desain II Penulis akan mengalami kegagalan jika  $D_n < 1.908 \text{ m}$

- Desain III penulis (BPPT-Loc)

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{7.85}{2.4}} = 1.484 \text{ m}$$

Maka Desain III Penulis akan mengalami kegagalan jika  $D_n < 1.484$

#### 4.4.2 Penentuan Fungsi Transformasi

Variabel beban dalam desain yaitu tinggi gelombang ( $H_s$ ) dalam prosesnya mengalami perubahan akibat transformasi. Perubahan ini cukup signifikan dan disebabkan oleh beberapa variabel lain. Sebelumnya transformasi gelombang dianalisis dengan menggunakan *software* SMS. Untuk memudahkan simulasi analisis keandalan, proses penggunaan *software* harus dipermudah dengan membuat fungsi transformasi. Pembuatan fungsi transformasi dilakukan dengan menggunakan teori *Design of Experiment – Response Surface Method*. Pengamatan dilakukan pada tiga titik (A, B, dan C) dan dengan 3 arah sudut datang gelombang yaitu Barat Daya ( $45^\circ$ ), Selatan ( $90^\circ$ ) dan Tenggara ( $135^\circ$ ). Akhirnya didapatkan 9 persamaan transformasi untuk masing-masing kondisi. Variabel masukan ada dua yaitu tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) laut dalam dan periode gelombang signifikan ( $T_s$ ), untuk itu metode yang cocok adalah *First Order Response Surface Model* untuk dua variabel.

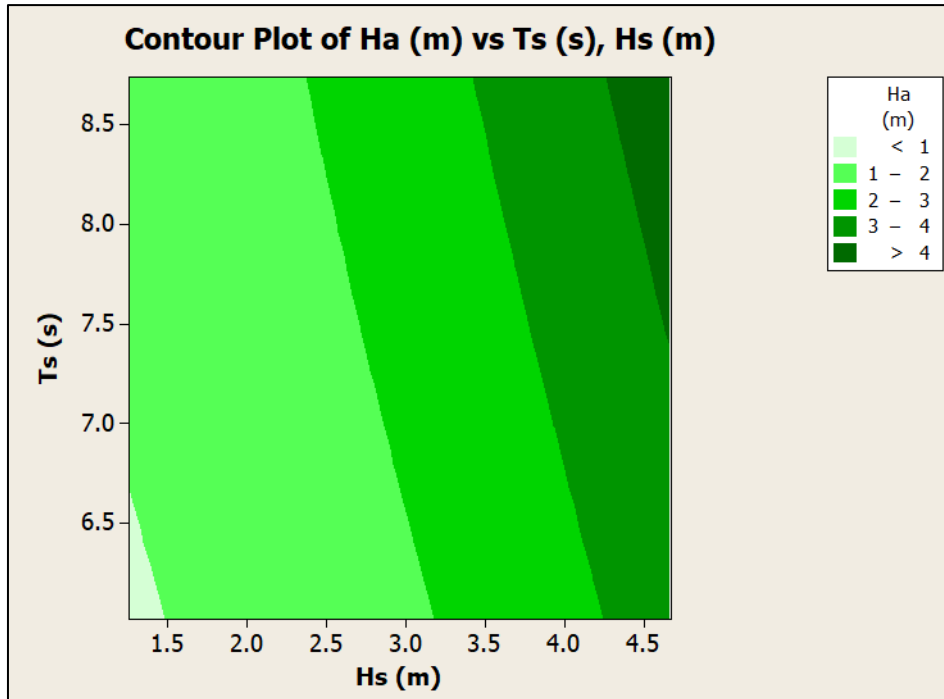
##### 4.4.2.1 Sudut Datang Gelombang Barat Daya ( $45^\circ$ )

Pembuatan fungsi transformasi yang pertama adalah untuk arah datang gelombang Barat Daya ( $45^\circ$ ). *Running* pada SMS – CGWave dilakukan sebanyak 9 kali dengan kombinasi *input* seperti pada Tabel 4.24. Kemudian dilihat keluaran tinggi gelombang ( $H$ ) pada titik A (-1692.85, -1080.85), B (-1441.08, -1082.88) dan C (-1128.24, -1091.23).

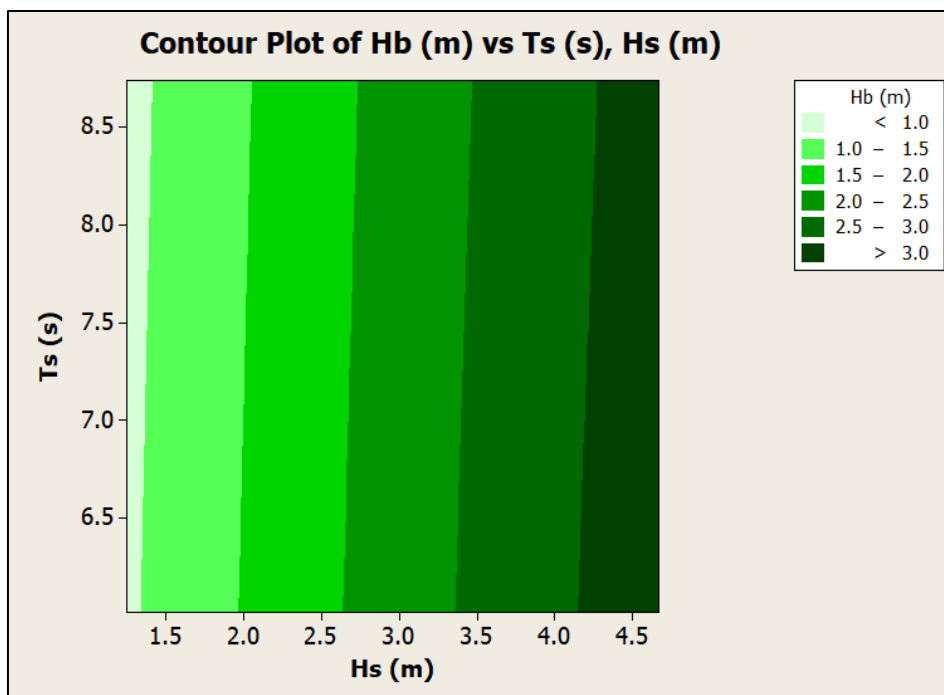
Tabel 4.24. First Order Model arah Barat Daya ( $45^\circ$ )

| Eksperimen | Variabel Kode |       | Variabel Asli |           | Respons   |           |           |
|------------|---------------|-------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|            | $X_1$         | $X_2$ | $H_s$ (m)     | $T_s$ (s) | $H_A$ (m) | $H_B$ (m) | $H_C$ (m) |
| 1          | -1            | -1    | 1.25          | 6.02      | 0.92      | 0.925     | 1.036     |
| 2          | 1             | -1    | 4.67          | 6.02      | 3.469     | 3.306     | 1.053     |
| 3          | -1            | 1     | 1.25          | 8.74      | 1.245     | 0.864     | 1.025     |
| 4          | 1             | 1     | 4.67          | 8.74      | 4.54      | 3.226     | 1.098     |
| 5          | 0             | 0     | 2.96          | 7.38      | 2.179     | 2.191     | 1.061     |
| 6          | 0             | 0     | 2.96          | 7.38      | 2.179     | 2.191     | 1.061     |
| 7          | 0             | 0     | 2.96          | 7.38      | 2.179     | 2.191     | 1.061     |
| 8          | 0             | 0     | 2.96          | 7.38      | 2.179     | 2.191     | 1.061     |
| 9          | 0             | 0     | 2.96          | 7.38      | 2.179     | 2.191     | 1.061     |

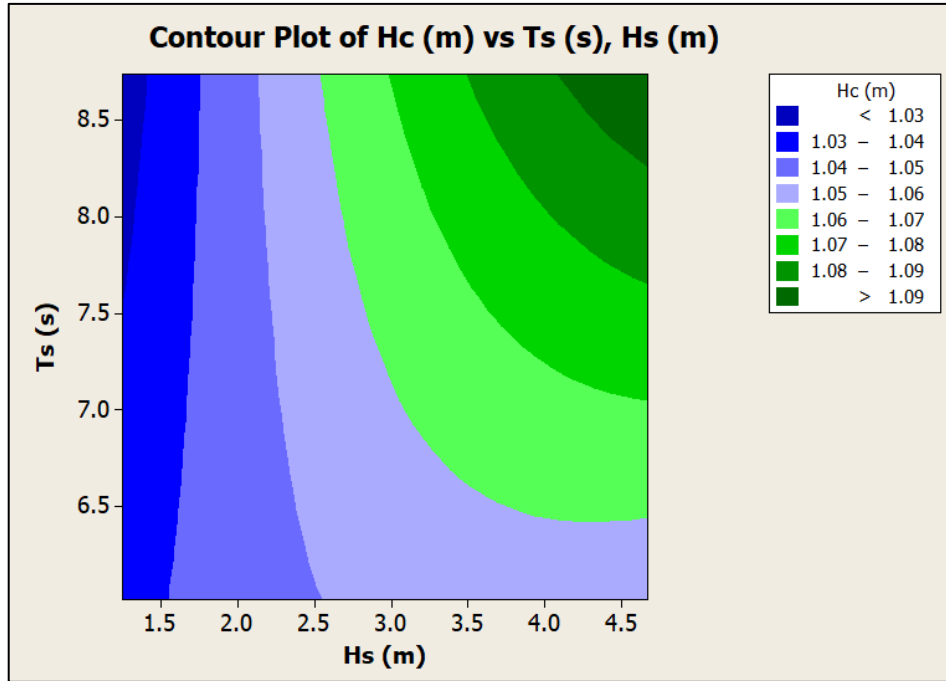
Dari keluaran respons, kemudian dibuat persamaan regresi untuk ketiga titik pengamatan  $H_A$ ,  $H_B$ , dan  $H_C$ , persamaan regresi dibuat dengan bantuan *software* Minitab dan kemudian dengan *software* yang sama didapatkan grafik *Respons Surface* untuk masing-masing  $H_A$ ,  $H_B$ , dan  $H_C$  (lihat Gambar 4.12).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.12. *Surface Plot* 45° dengan keluaran (a)  $H_a$  (b)  $H_a$  (c)  $H_a$

Gambar 4.12 merupakan grafik kontur yang menunjukkan bentuk model dari Persamaan (4.6),(4.7) dan (4.8) di mana  $H_s$  dan  $T_s$  merupakan variabel *input* dan  $H_A$ ,  $H_B$ , dan  $H_C$  merupakan keluaran dari ketiga persamaan tersebut.

$$H_A = 0.600175 - 0.475399H_s + 0.0192423T_s - 0.124654H_s^2 + 0.0801944H_sT_s \quad (4.6)$$

$$H_B = -0.0467056 + 0.932714H_s - 0.0198734T_s - 0.0378749H_s^2 + 0.00204248H_sT_s \quad (4.7)$$

$$H_C = 1.08346 - 0.0150729H_s - 0.0115691T_s - 0.00273588H_s^2 + 0.00601955H_sT_s \quad (4.8)$$

Persamaan (4.6),(4.7),(4.8) kemudian dilakukan pengecekan dari hasil *running* dengan hasil dari persamaan regresi, jika error hasil keluaran kecil maka persamaan regresi tersebut dapat diterima sebagai persamaan transformasi untuk arah datang gelombang Barat Daya.

Tabel 4.25. Pengecekan Persamaan Regresi Arah Barat Daya

| Respons            |                    |                    | Regresi            |                    |                    | Cek Error          |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) | H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) | H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) |
| 0.92               | 0.925              | 1.036              | 0.92000            | 0.92500            | 1.03600            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 3.469              | 3.306              | 1.053              | 3.46900            | 3.30600            | 1.05300            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 1.245              | 0.864              | 1.025              | 1.24500            | 0.86400            | 1.02500            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 4.54               | 3.226              | 1.098              | 4.54000            | 3.22600            | 1.09800            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.179              | 2.191              | 1.061              | 2.17900            | 2.19100            | 1.06100            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.179              | 2.191              | 1.061              | 2.17900            | 2.19100            | 1.06100            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.179              | 2.191              | 1.061              | 2.17900            | 2.19100            | 1.06100            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.179              | 2.191              | 1.061              | 2.17900            | 2.19100            | 1.06100            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.179              | 2.191              | 1.061              | 2.17900            | 2.19100            | 1.06100            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |

Dapat dilihat pada Tabel 4.25 hasil *error* antara respons dan regresi semuanya adalah 0%, artinya untuk transformasi gelombang dengan arah datang gelombang Barat Daya dapat diwakili oleh Persamaan (4.6), (4.7) dan (4.8) sebagai persamaan transformasinya.

#### 4.4.2.2 Sudut Datang Gelombang Selatan (90°)

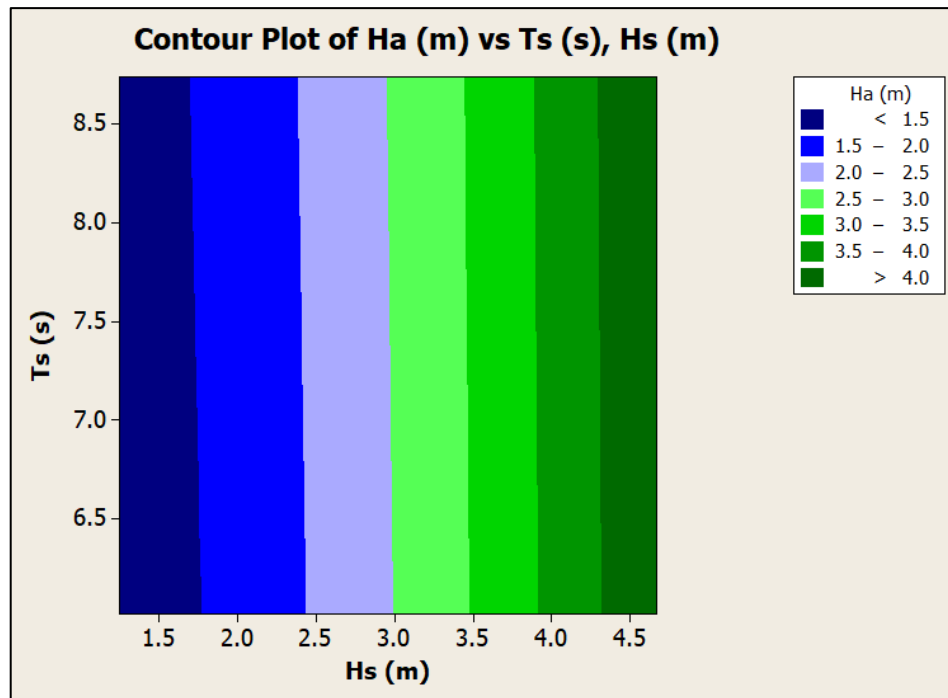
Pembuatan fungsi transformasi yang kedua adalah untuk arah datang gelombang Selatan (45°). Sama seperti sebelumnya *running* pada SMS – CGWave dilakukan sebanyak 9 kali dengan kombinasi *input* seperti pada Tabel 4.26. Kemudian dilihat keluaran tinggi gelombang (H) pada A (-1692.85, -1080.85), B (-1441.08, -1082.88) dan C (-1128.24, -1091.23).

Tabel 4.26. First Order Model arah Selatan (90°)

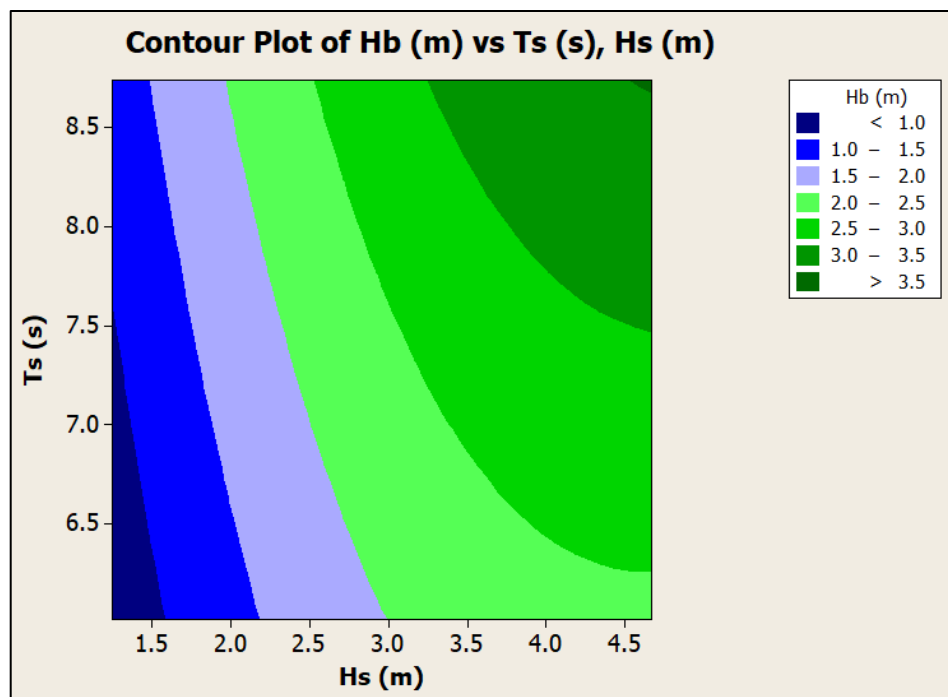
| Eksperimen | Variabel Kode  |                | Variabel Asli      |                    | Respons            |                    |                    |
|------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|            | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | H <sub>s</sub> (m) | T <sub>s</sub> (s) | H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) |
| 1          | -1             | -1             | 1.25               | 6.02               | 1.184              | 0.672              | 1.061              |
| 2          | 1              | -1             | 4.67               | 6.02               | 4.466              | 2.402              | 0.931              |
| 3          | -1             | 1              | 1.25               | 8.74               | 1.236              | 1.223              | 0.765              |
| 4          | 1              | 1              | 4.67               | 8.74               | 4.492              | 3.526              | 1.096              |
| 5          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 2.485              | 2.402              | 0.834              |
| 6          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 2.485              | 2.402              | 0.834              |
| 7          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 2.485              | 2.402              | 0.834              |
| 8          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 2.485              | 2.402              | 0.834              |
| 9          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 2.485              | 2.402              | 0.834              |

Dari keluaran respons, kemudian dibuat persamaan regresi untuk ketiga titik pengamatan H<sub>A</sub>, H<sub>B</sub>, dan H<sub>C</sub>, persamaan regresi dibuat dengan bantuan *software* Minitab dan kemudian dengan *software* yang sama didapatkan grafik *Respons Surface* untuk masing-masing H<sub>A</sub>, H<sub>B</sub>, dan H<sub>C</sub> (lihat Gambar 4.13).

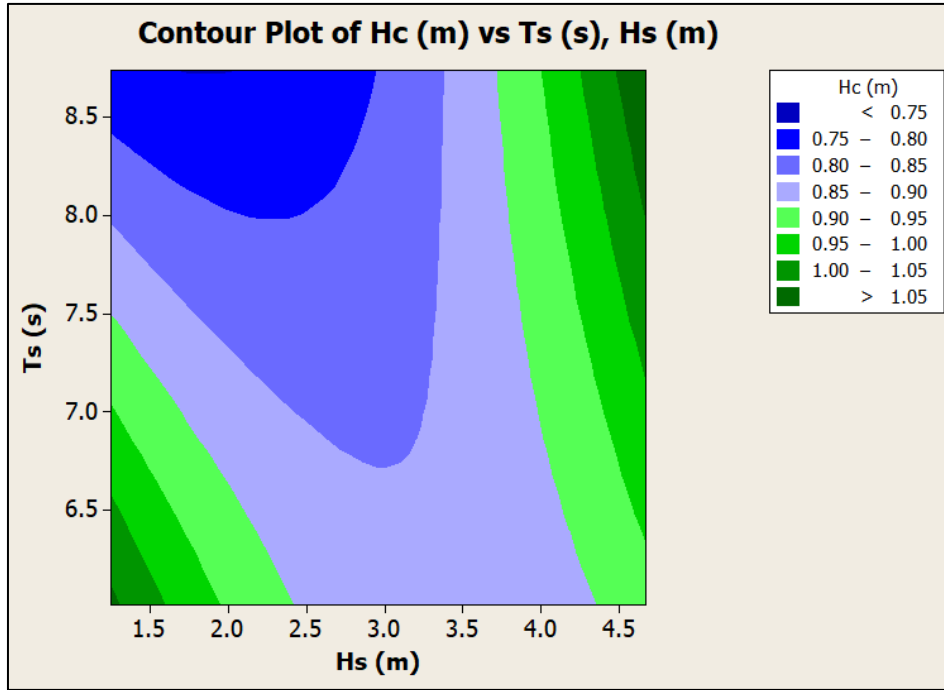




(a)



(b)



(c)

Gambar 4.13. *Surface Plot 90°* dengan keluaran (a)  $H_a$  (b)  $H_b$  (c)  $H_c$

Gambar 4.13 merupakan grafik kontur yang menunjukkan bentuk model dari Persamaan (4.9), (4.10) dan (4.11) di mana  $H_s$  dan  $T_s$  merupakan variabel *input* dan  $H_A$ ,  $H_B$ , dan  $H_C$  merupakan keluaran dari ketiga persamaan tersebut.

$$H_A = 0.566003 + 0.248648H_s + 0.0226114T_s + 0.122944H_s^2 - 0.00279498H_sT_s \quad (4.9)$$

$$H_B = -1.60715 + 1.03849H_s + 0.125577T_s - 0.152611H_s^2 + 0.0615970H_sT_s \quad (4.10)$$

$$H_C = 2.39458 - 0.598019H_s - 0.17077T_s + 0.0442016H_s^2 + 0.0495571H_sT_s \quad (4.11)$$

Kemudian dilakukan pengecekan dari hasil *running* dengan hasil dari persamaan regresi, jika *error* hasil keluaran kecil maka persamaan regresi tersebut dapat diterima sebagai persamaan transformasi untuk arah datang gelombang Barat Daya.

Tabel 4.27. Pengecekan Persamaan Regresi Arah Selatan

| Respons            |                    |                    | Regresi            |                    |                    | Cek Error          |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) | H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) | H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) |
| 1.184              | 0.672              | 1.061              | 1.18400            | 0.67200            | 1.06100            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 4.466              | 2.402              | 0.931              | 4.46601            | 2.40199            | 0.93100            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 1.236              | 1.223              | 0.765              | 1.23600            | 1.22300            | 0.76500            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 4.492              | 3.526              | 1.096              | 4.49201            | 3.52599            | 1.09600            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.485              | 2.402              | 0.834              | 2.48500            | 2.40200            | 0.83400            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.485              | 2.402              | 0.834              | 2.48500            | 2.40200            | 0.83400            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.485              | 2.402              | 0.834              | 2.48500            | 2.40200            | 0.83400            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.485              | 2.402              | 0.834              | 2.48500            | 2.40200            | 0.83400            | 0%                 | 0%                 | 1%                 |
| 2.485              | 2.402              | 0.834              | 2.48500            | 2.40200            | 0.83400            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |

Dapat dilihat pada Tabel 4.25 hasil *error* terbesar antara respons dan regresi adalah 1%, artinya untuk transformasi gelombang dengan arah datang gelombang Selatan dapat diwakili oleh Persamaan (4.9), (4.10) dan (4.11) sebagai persamaan transformasinya.

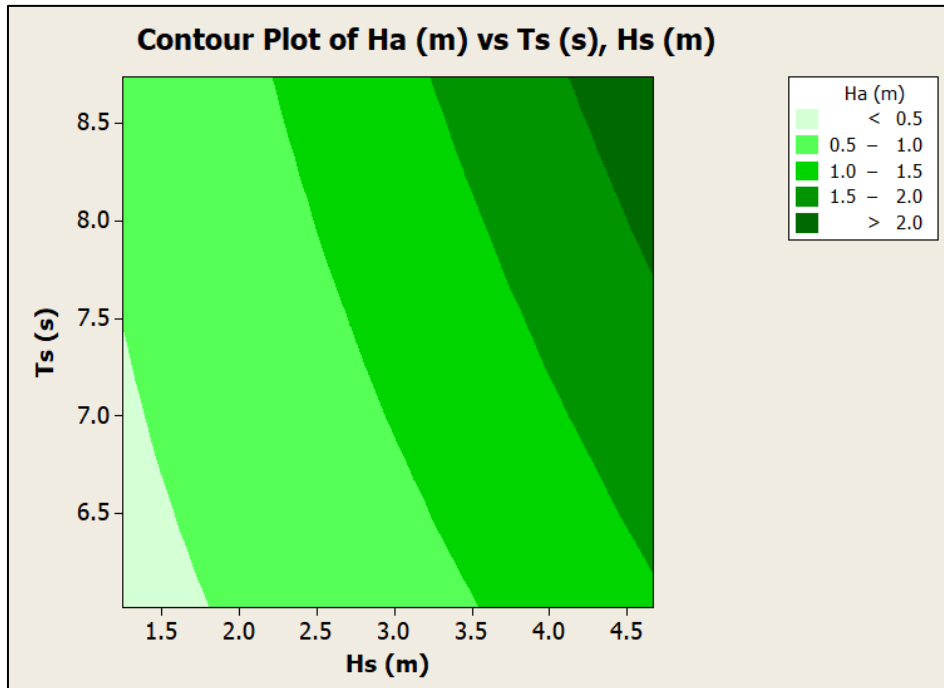
#### 4.4.2.3 Sudut Datang Gelombang Tenggara (135°)

Pembuatan fungsi transformasi yang kedua adalah untuk arah datang gelombang Selatan (45°). Sama seperti sebelumnya *running* pada SMS – CGWave dilakukan sebanyak 9 kali dengan kombinasi *input* seperti pada Tabel 4.26. Kemudian dilihat keluaran tinggi gelombang (H) pada titik A (-1692.85, -1080.85), B (-1441.08, -1082.88) dan C (-1128.24, -1091.23).

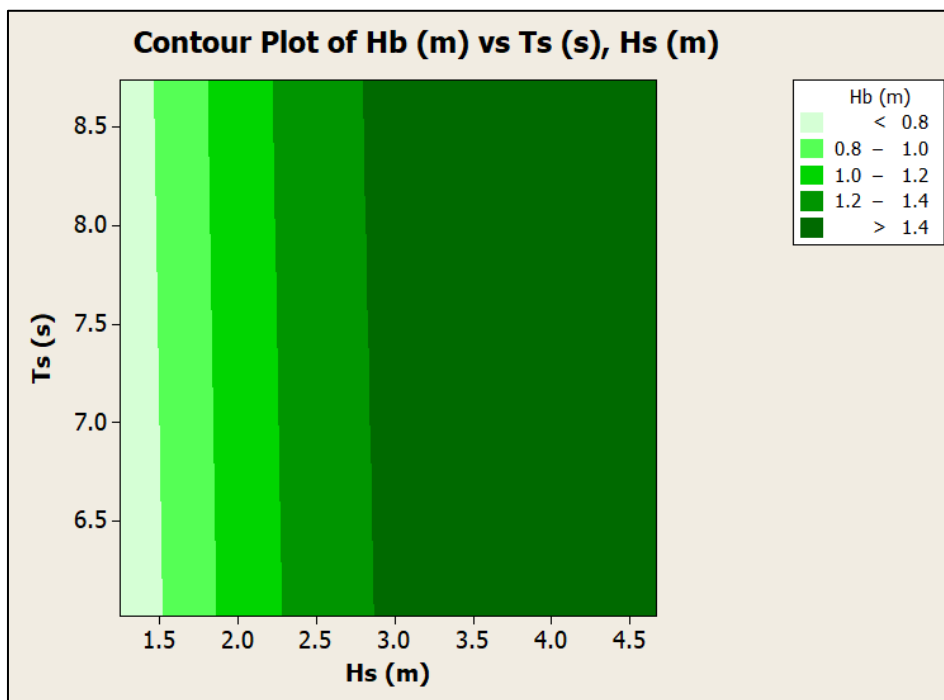
Tabel 4.28. First Order Model arah Tenggara (135°)

| Eksperimen | Variabel Kode  |                | Variabel Asli      |                    | Respons            |                    |                    |
|------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|            | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | H <sub>s</sub> (m) | T <sub>s</sub> (s) | H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) |
| 1          | -1             | -1             | 1.25               | 6.02               | 0.387              | 0.619              | 0.386              |
| 2          | 1              | -1             | 4.67               | 6.02               | 1.444              | 1.431              | 1.043              |
| 3          | -1             | 1              | 1.25               | 8.74               | 0.599              | 0.656              | 0.672              |
| 4          | 1              | 1              | 4.67               | 8.74               | 2.337              | 1.431              | 1.043              |
| 5          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 1.082              | 1.431              | 1.043              |
| 6          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 1.082              | 1.431              | 1.043              |
| 7          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 1.082              | 1.431              | 1.043              |
| 8          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 1.082              | 1.431              | 1.043              |
| 9          | 0              | 0              | 2.96               | 7.38               | 1.082              | 1.431              | 1.043              |

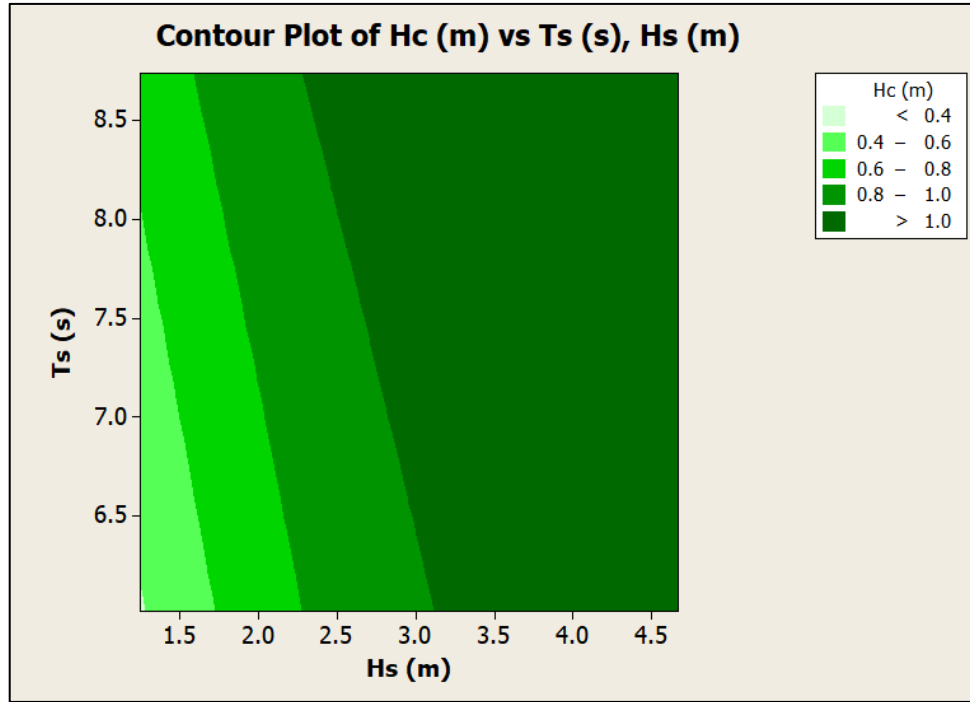
Dari keluaran respons, kemudian dibuat persamaan regresi untuk ketiga titik pengamatan H<sub>A</sub>, H<sub>B</sub>, dan H<sub>C</sub>, persamaan regresi dibuat dengan bantuan *software* Minitab dan kemudian dengan *software* yang sama didapatkan grafik *Respons Surface* untuk masing-masing H<sub>A</sub>, H<sub>B</sub>, dan H<sub>C</sub> (lihat Gambar 4.14).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.14. *Surface Plot* 135° dengan keluaran (a)  $H_a$  (b)  $H_a$  (c)  $H_a$

Gambar 4.14 merupakan grafik kontur yang menunjukkan bentuk model dari Persamaan (4.12), (4.13) dan (4.14) di mana  $H_s$  dan  $T_s$  merupakan variabel *input* dan  $H_A$ ,  $H_B$ , dan  $H_C$  merupakan keluaran dari ketiga persamaan tersebut.

$$H_A = 0.301444 - 0.353836H_s - 0.0135675T_s + 0.0375329H_s^2 + 0.0732069H_sT_s \quad (4.12)$$

$$H_B = -0.581652 + 1.06461H_s + 0.0185748T_s - 0.135683H_s^2 - 0.00397747H_sT_s \quad (4.13)$$

$$H_C = -1.23153 + 0.897499H_s - 0.143578T_s - 0.0878903H_s^2 - 0.0307448H_sT_s \quad (4.14)$$

Kemudian dilakukan pengecekan dari hasil *running* dengan hasil dari persamaan regresi, jika error hasil keluaran kecil maka persamaan regresi tersebut dapat diterima sebagai persamaan transformasi untuk arah datang gelombang Barat Daya.

Tabel 4.29. Pengecekan Persamaan Regresi Arah Tenggara

| Respons            |                    |                    | Regresi            |                    |                    | Cek Error          |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) | H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) | H <sub>A</sub> (m) | H <sub>B</sub> (m) | H <sub>C</sub> (m) |
| 0.387              | 0.619              | 0.386              | 0.38700            | 0.61900            | 0.38600            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 1.444              | 1.431              | 1.043              | 1.44400            | 1.43098            | 1.04300            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 0.599              | 0.656              | 0.672              | 0.59900            | 0.65600            | 0.67200            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 2.337              | 1.431              | 1.043              | 2.33700            | 1.43098            | 1.04300            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 1.082              | 1.431              | 1.043              | 1.08200            | 1.43099            | 1.04300            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 1.082              | 1.431              | 1.043              | 1.08200            | 1.43099            | 1.04300            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 1.082              | 1.431              | 1.043              | 1.08200            | 1.43099            | 1.04300            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 1.082              | 1.431              | 1.043              | 1.08200            | 1.43099            | 1.04300            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |
| 1.082              | 1.431              | 1.043              | 1.08200            | 1.43099            | 1.04300            | 0%                 | 0%                 | 0%                 |

Dapat dilihat pada Tabel 4.25 hasil *error* antara respons dan regresi semuanya adalah 0%, artinya untuk transformasi gelombang dengan arah datang gelombang Barat Daya dapat diwakili oleh Persamaan (4.12), (4.13) dan (4.14) sebagai persamaan transformasinya.

#### 4.4.3 Pembangkitan Bilangan Acak

Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan bilangan acak sebagai kombinasi besar variabel beban pada desain. Dengan menggunakan *software* Microsoft Excel, bilangan acak dapat dibangkitkan dengan fungsi perintah “=rand()”. Setelah itu akan muncul beragam bilangan desimal dengan besar antara 0 hingga 1.

Secara teori, bilangan acak merupakan bilangan dengan jenis distribusi *uniform* (seragam). Artinya peluang muncul bilangan 0.001 dengan 0.99 serta bilangan lainnya adalah sama. Untuk itu perlu dilakukan penyesuaian dengan jenis distribusi data variabel beban yang ada pada desain kita. Dalam kasus yang penulis angkat, tinggi gelombang laut signifikan ( $H_s$ ) merupakan variabel beban dengan jenis distribusi data yaitu Weibull 3 Parameter. Dengan mengetahui jenis distribusi data maka diketahui pula persamaan *cummulative distribution function* (CDF)-nya yaitu:

$$Q = \exp\left(-\left(\frac{H_s - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (4.15)$$

Bilangan acak yang dibangkitkan kemudian digunakan sebagai nilai Q atau probabilitas . sehingga kita dapat menemukan besar tinggi gelombang signifikan dengan meng-invers-kan Persamaan (4.15) menjadi Persamaan (4.16).

$$H_s = \beta \left(\ln \frac{1}{Q}\right)^{1/\alpha} + \gamma \quad (4.16)$$

Pada Sub-Bab 4.2.1 dan 4.2.2 telah didapatkan parameter dari distribusi weibull yaitu  $\alpha = 1$ ;  $\beta = 0.63$ ; dan  $\gamma = 1.55$ ; maka Persamaan (4.16) menjadi

$$H_s = 0.63 \left( \ln \frac{1}{q} \right)^1 + 1.55 \quad (4.17)$$

Untuk periode gelombang signifikan juga dilakukan dengan tahapan yang sama. Terlebih dahulu ditentukan persamaan invers dari CDF-nya untuk menjalankan simulasi. Jenis distribusi periode gelombang signifikan juga Weibull 3 Parameter dengan masing-masing parameternya yaitu  $\alpha = 1.737$ ;  $\beta = 0.9412$ ; dan  $\gamma = 5.998$ ; dan persamaan invers-nya menjadi:

$$T_s = 0.95248 \left( \ln \frac{1}{q} \right)^{1.67452} + 6.00209 \quad (4.18)$$

Untuk beberapa sampel pembangkitan bilangan acak dan transformasi menjadi tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30. Pembangkitan Bilangan Acak

| Pengulangan | Bilangan Acak |         |         | H <sub>s</sub><br>(m) | T <sub>s</sub><br>(s) | Sudut<br>(°) |
|-------------|---------------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|--------------|
|             | 1             | 2       | 3       |                       |                       |              |
| 1           | 0.95313       | 0.60234 | 0.22772 | 1.615                 | 6.596                 | 45           |
| 2           | 0.42430       | 0.72324 | 0.24832 | 2.706                 | 6.442                 | 45           |
| 3           | 0.49166       | 0.22188 | 0.73232 | 2.507                 | 7.234                 | 135          |
| 4           | 0.73858       | 0.62818 | 0.92110 | 1.958                 | 6.563                 | 135          |
| 5           | 0.95260       | 0.62917 | 0.39476 | 1.615                 | 6.562                 | 90           |
| 6           | 0.35120       | 0.38119 | 0.26651 | 2.961                 | 6.917                 | 45           |
| 7           | 0.56937       | 0.86455 | 0.31612 | 2.309                 | 6.258                 | 45           |
| ...         | ...           | ...     | ...     | ...                   | ...                   | ...          |
| 494         | 0.73306       | 0.89340 | 0.90502 | 1.969                 | 6.218                 | 135          |
| 495         | 0.19278       | 0.89638 | 0.31475 | 3.769                 | 6.213                 | 45           |
| 496         | 0.15234       | 0.72471 | 0.45305 | 4.086                 | 6.440                 | 90           |
| 497         | 0.19912       | 0.70151 | 0.26441 | 3.725                 | 6.469                 | 45           |
| 498         | 0.98688       | 0.68772 | 0.43820 | 1.568                 | 6.487                 | 90           |
| 499         | 0.78586       | 0.49098 | 0.06530 | 1.875                 | 6.748                 | 45           |
| 500         | 0.93269       | 0.46591 | 0.82931 | 1.644                 | 6.784                 | 135          |

Khusus untuk sudut tidak menggunakan CDF. Hal ini dikarenakan sudut datang gelombang hanya dispesifikkan menjadi tiga saja (45°, 90°, 135°). Sehingga penentuannya hanya berdasarkan *range* bilangan acak (0 – 1) yang dibagi menjadi tiga. Jika bilangan acak berkisar antara 0 – 0.333, maka sudut datang gelombang yaitu 45°. Jika bilangan acak

berkisar antara 0.333-0.666, maka sudut datang gelombang yaitu  $90^\circ$ . Terakhir jika sudut datang gelombang berkisar antara  $0.666 - 1$ , maka sudut datang gelombang yaitu  $135^\circ$ .

Selanjutnya ketiga variabel hasil dari pembangkitan bilangan acak tersebut di-inputkan ke persamaan transformasi yang telah dibuat sebelumnya. Persamaan yang digunakan disesuaikan dengan sudut datang gelombang. Hasil dari persamaan transformasi nantinya berupa tinggi gelombang signifikan pada tiga titik. Tinggi gelombang yang diambil sebagai tinggi gelombang desain yaitu tinggi gelombang tertinggi dari ketiga titik tersebut.

Tabel 4.31. Penentuan tinggi gelombang desain dengan fungsi transformasi

| Pengulangan | $H_s$<br>(m) | $T_s$<br>(s) | Sudut<br>( $^\circ$ ) | Transformasi |           |           | $H_d$<br>(m) |
|-------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------|-----------|--------------|
|             |              |              |                       | $H_A$ (m)    | $H_B$ (m) | $H_C$ (m) |              |
| 1           | 2.96716      | 7.68846      | 90                    | 2.49627      | 2.50132   | 0.82690   | 2.50132      |
| 2           | 2.45389      | 6.31927      | 135                   | 0.70864      | 1.26946   | 0.87215   | 1.26946      |
| 3           | 3.16207      | 7.67024      | 135                   | 1.22935      | 1.47407   | 1.08324   | 1.47407      |
| 4           | 3.06842      | 6.60459      | 135                   | 0.96308      | 1.44961   | 1.02008   | 1.44961      |
| 5           | 3.30584      | 6.81858      | 90                    | 2.82277      | 2.40283   | 0.85335   | 2.82277      |
| 6           | 2.49768      | 6.92134      | 45                    | 1.70995      | 1.87378   | 1.05274   | 1.87378      |
| 7           | 2.96716      | 7.68846      | 90                    | 2.49627      | 2.50132   | 0.82690   | 2.50132      |
| ...         | ...          | ...          | ...                   | ...          | ...       | ...       | ...          |
| 494         | 1.615        | 6.596        | 45                    | 1.139        | 1.208     | 1.040     | 1.208        |
| 495         | 2.706        | 6.442        | 45                    | 1.748        | 2.036     | 1.053     | 2.036        |
| 496         | 2.507        | 7.234        | 135                   | 0.880        | 1.297     | 0.947     | 1.297        |
| 497         | 1.958        | 6.563        | 135                   | 0.604        | 1.054     | 0.736     | 1.054        |
| 498         | 1.615        | 6.562        | 90                    | 1.407        | 1.149     | 0.949     | 1.407        |
| 499         | 2.961        | 6.917        | 45                    | 2.061        | 2.203     | 1.058     | 2.203        |
| 500         | 2.309        | 6.258        | 45                    | 1.446        | 1.751     | 1.049     | 1.751        |

Pengulangan dilakukan sebanyak-banyaknya hingga mendapatkan grafik perbandingan probabilitas sukses dengan banyak pengulangan yang stabil.

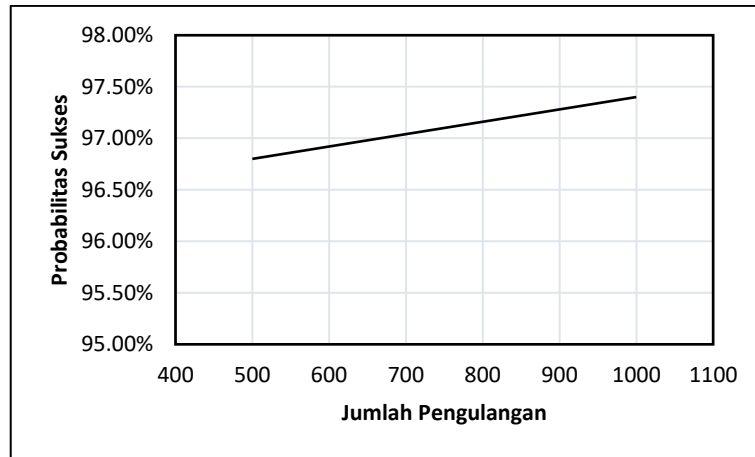
#### 4.4.4 Analisis Keandalan

Setelah melakukan simulasi kemudian dilakukan perhitungan probabilitas kegagalan dari sistem untuk tiap-tiap jenis struktur.

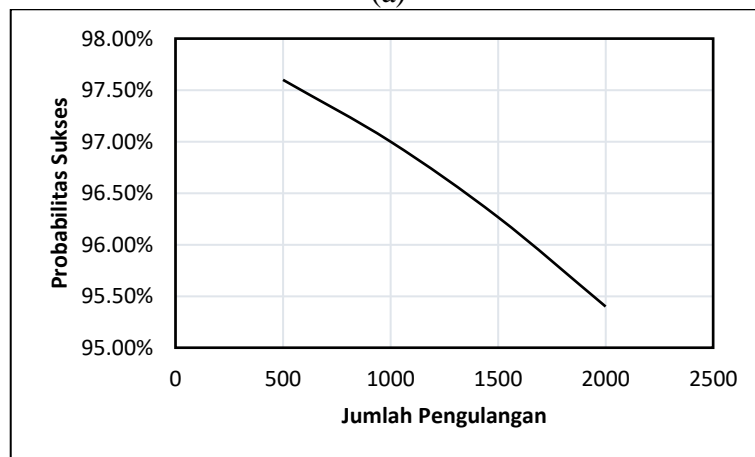
##### 4.4.4.1 Desain Rencana

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 4.4.1. desain rencana akan mengalami kegagalan jika  $D_n < 1.842$ . Hasil simulasi tinggi gelombang desain kemudian dimasukkan ke dalam fungsi kinerja pada Persamaan (4.5) untuk mendapatkan besar  $D_n$  –nya. Jika sistem gagal, maka akan ditandai dengan “0”, sebaliknya jika sistem sukses ditandai dengan “1”.

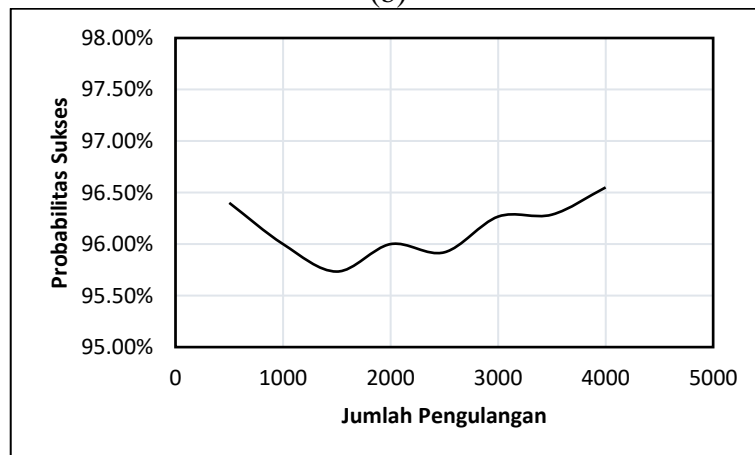




(a)



(b)



(c)

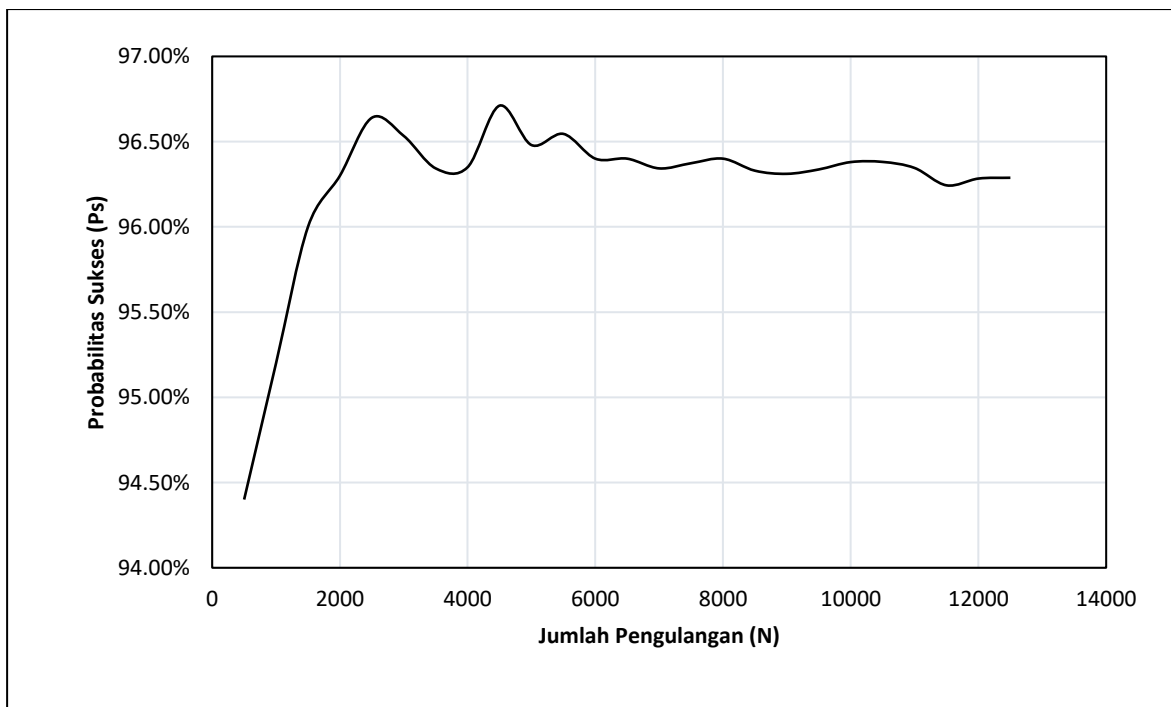
Gambar 4.15 Perbandingan  $P_s$  dengan  $N$  (a) pengulangan 500 (b) pengulangan 2000 (c) pengulangan 4000

Gambar 4.15 menunjukkan grafik perbandingan  $P_s$  dengan  $N$  yang masih belum stabil pada pengulangan 500, 2000 dan 4000. Pengulangan terus dilakukan hingga mendapatkan grafik yang stabil.

Tabel 4.32. Peluang sukses desain rencana

| Pengulangan | H <sub>d</sub> (m) | D <sub>n</sub> (m) | S/G | N     | Sukses | Gagal | Ps     |
|-------------|--------------------|--------------------|-----|-------|--------|-------|--------|
| 1           | 2.50132            | 0.66049            | 1   | 500   | 486    | 14    | 94.40% |
| 2           | 1.26946            | 0.33521            | 1   | 1000  | 976    | 24    | 95.20% |
| 3           | 1.47407            | 0.38924            | 1   | 1500  | 1470   | 30    | 96.00% |
| 4           | 1.44961            | 0.38278            | 1   | 2000  | 1963   | 37    | 96.30% |
| 5           | 2.82277            | 0.74537            | 1   | 2500  | 2458   | 42    | 96.64% |
| 6           | 1.87378            | 0.49478            | 1   | 3000  | 2948   | 52    | 96.53% |
| 7           | 1.16047            | 0.30643            | 1   | 3500  | 3436   | 64    | 96.34% |
| ...         | ...                | ...                | ... | ...   | ...    | ...   | ...    |
| 11,994      | 1.49386            | 0.39446            | 1   | 9500  | 9326   | 174   | 96.34% |
| 11,995      | 3.49074            | 0.92175            | 1   | 10000 | 9819   | 181   | 96.38% |
| 11,996      | 1.51286            | 0.39948            | 1   | 10500 | 10310  | 190   | 96.38% |
| 11,997      | 1.45065            | 0.38305            | 1   | 11000 | 10799  | 201   | 96.35% |
| 11,998      | 1.99967            | 0.52802            | 1   | 11500 | 11284  | 216   | 96.24% |
| 11,999      | 1.25060            | 0.33023            | 1   | 12000 | 11777  | 223   | 96.28% |
| 12,000      | 1.56511            | 0.41327            | 1   | 12500 | 12268  | 232   | 96.29% |

Jumlah pengulangan (N) dan probabilitas sukses (Ps) kemudian diplotkan ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16. Perbandingan Ps dengan N untuk Desain Rencana

Dari grafik pada Gambar 4.16 dapat disimpulkan bahwa simulasi mengalami kestabilan pada simulasi ke-12,000. Maka dapat dihitung probabilitas kegagalan ( $P_f$ ) dengan menggunakan Persamaan (2.32) di mana  $n = 223$ ; dan  $N = 12,000$ .

$$P_f = \frac{223}{12,000} = 0.018583$$

Keandalan struktur dapat dihitung dengan Persamaan (2.33) yaitu:

$$K = 1 - P_f = 1 - 0.018583 = 0.981417 = 98.14\%$$

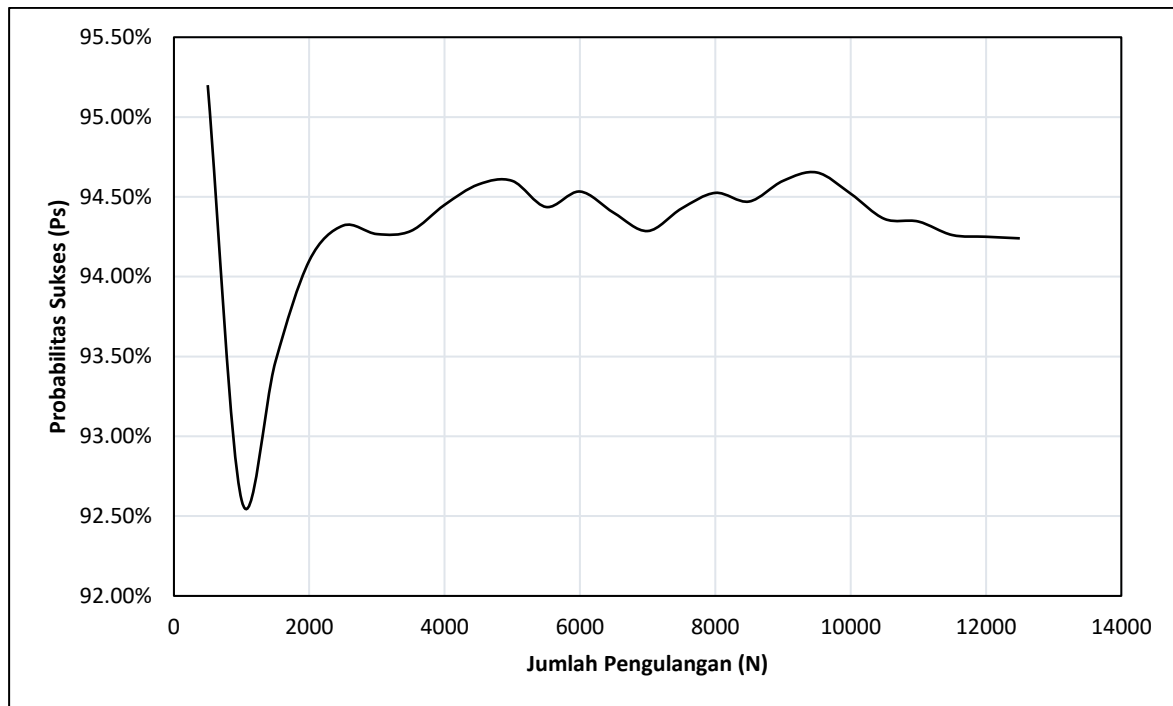
#### 4.4.4.2 Desain I Penulis (Dolos)

Pada sub-bab 4.4.1. telah dijelaskan bahwa desain I penulis (Dolos) akan mengalami kegagalan jika  $D_n < 1.547$ . Sama seperti sub-bab sebelumnya, hasil simulasi tinggi gelombang desain kemudian dimasukkan ke dalam fungsi kinerja pada Persamaan (4.5) untuk mendapatkan besar  $D_n$  -nya. Jika sistem gagal, maka akan ditandai dengan “0”, sebaliknya jika sistem sukses ditandai dengan “1”.

Tabel 4.33. Peluang Sukses Desain I Penulis

| Pengulangan | $H_d$ (m) | $D_n$ (m) | S/G | N     | Sukses | Gagal | $P_s$  |
|-------------|-----------|-----------|-----|-------|--------|-------|--------|
| 1           | 1.971068  | 0.520469  | 1   | 500   | 488    | 12    | 95.20% |
| 2           | 1.940256  | 0.512333  | 1   | 1000  | 963    | 37    | 92.60% |
| 3           | 3.837711  | 1.013365  | 1   | 1500  | 1451   | 49    | 93.47% |
| 4           | 4.545525  | 1.200267  | 1   | 2000  | 1941   | 59    | 94.10% |
| 5           | 2.457630  | 0.648948  | 1   | 2500  | 2429   | 71    | 94.32% |
| 6           | 1.646782  | 0.434840  | 1   | 3000  | 2914   | 86    | 94.27% |
| 7           | 4.324976  | 1.142030  | 1   | 3500  | 3400   | 100   | 94.29% |
| ...         | ...       | ...       | ... | ...   | ...    | ...   | ...    |
| 11,994      | 1.512755  | 0.399450  | 1   | 9500  | 9246   | 254   | 94.65% |
| 11,995      | 1.452895  | 0.383643  | 1   | 10000 | 9726   | 274   | 94.52% |
| 11,996      | 1.997161  | 0.527359  | 1   | 10500 | 10204  | 296   | 94.36% |
| 11,997      | 1.251776  | 0.330537  | 1   | 11000 | 10689  | 311   | 94.35% |
| 11,998      | 1.564623  | 0.413146  | 1   | 11500 | 11170  | 330   | 94.26% |
| 11,999      | 5.431525  | 1.434219  | 1   | 12000 | 11655  | 345   | 94.25% |
| 12,000      | 5.882928  | 1.553414  | 0   | 12500 | 12139  | 361   | 94.24% |

Jumlah simulasi ( $N$ ) dan probabilitas sukses ( $P_s$ ) kemudian diplotkan ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17. Perbandingan  $P_s$  dengan  $N$  untuk Desain I Penulis

Dari grafik pada Gambar 4.16 dapat disimpulkan bahwa simulasi mengalami kestabilan pada simulasi ke-12,000. Maka dapat dihitung probabilitas kegagalan ( $P_f$ ) dengan menggunakan Persamaan (2.32) di mana  $n = 345$ ; dan  $N = 12,000$ .

$$P_f = \frac{345}{12,000} = 0.02875$$

Keandalan struktur dapat dihitung dengan Persamaan (2.33) yaitu:

$$K = 1 - P_f = 1 - 0.02875 = 0.97125 = 97.13\%$$

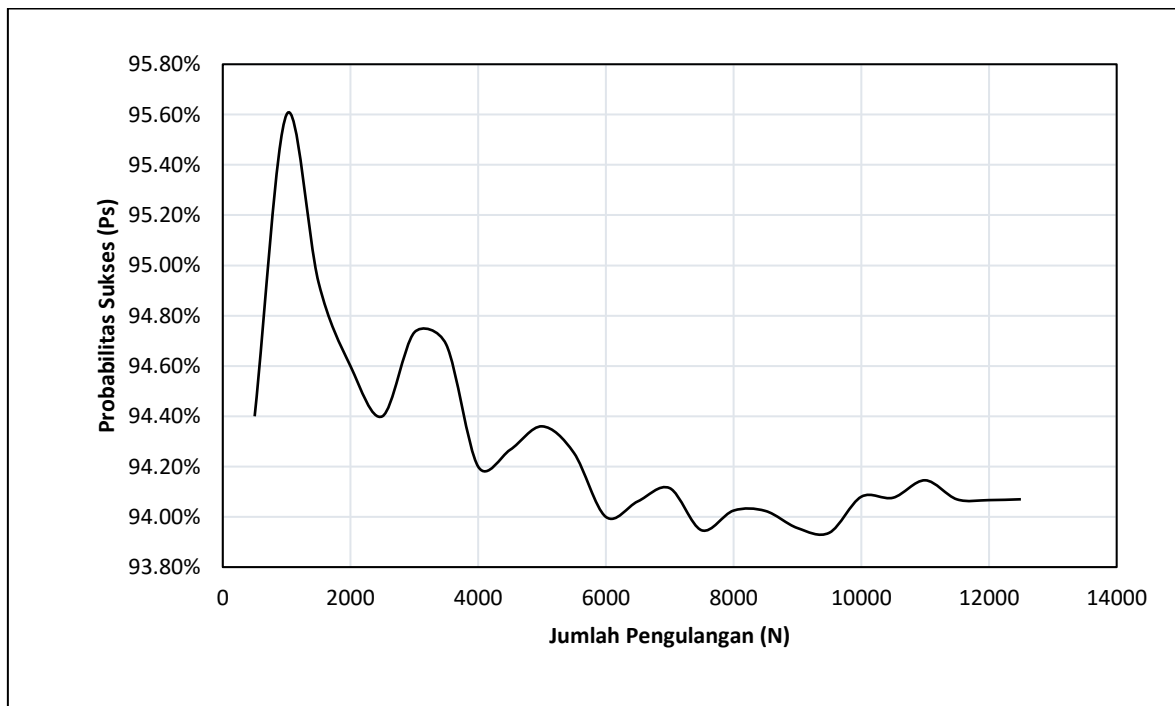
#### 4.4.4.3 Desain II Penulis (Tetrapod)

Pada sub-bab 4.4.1. telah dijelaskan bahwa desain II penulis (Tetrapod) akan mengalami kegagalan jika  $D_n < 1.908$ . Sama seperti sub-bab sebelumnya, hasil simulasi tinggi gelombang desain kemudian dimasukkan ke dalam fungsi kinerja pada Persamaan (4.5) untuk mendapatkan besar  $D_n$  -nya. Jika sistem gagal, maka akan ditandai dengan “0”, sebaliknya jika sistem sukses ditandai dengan “1”.

Tabel 4.34. Peluang Sukses Desain II Penulis

| Pengulangan | H <sub>d</sub> (m) | D <sub>n</sub> (m) | S/G | N     | Sukses | Gagal | Ps     |
|-------------|--------------------|--------------------|-----|-------|--------|-------|--------|
| 1           | 4.026072           | 1.310918           | 1   | 500   | 486    | 14    | 94.40% |
| 2           | 1.333213           | 0.434104           | 1   | 1000  | 978    | 22    | 95.60% |
| 3           | 3.163077           | 1.029921           | 1   | 1500  | 1462   | 38    | 94.93% |
| 4           | 1.570018           | 0.511209           | 1   | 2000  | 1946   | 54    | 94.60% |
| 5           | 1.370135           | 0.446126           | 1   | 2500  | 2430   | 70    | 94.40% |
| 6           | 0.853854           | 0.278021           | 1   | 3000  | 2921   | 79    | 94.73% |
| 7           | 2.403804           | 0.782696           | 1   | 3500  | 3407   | 93    | 94.69% |
| ...         | ...                | ...                | ... | ...   | ...    | ...   | ...    |
| 11,994      | 1.512755           | 0.492564           | 1   | 9500  | 9212   | 288   | 93.94% |
| 11,995      | 1.452895           | 0.473073           | 1   | 10000 | 9704   | 296   | 94.08% |
| 11,996      | 1.997161           | 0.65029            | 1   | 10500 | 10189  | 311   | 94.08% |
| 11,997      | 1.251776           | 0.407587           | 1   | 11000 | 10678  | 322   | 94.15% |
| 11,998      | 1.564623           | 0.509453           | 1   | 11500 | 11159  | 341   | 94.07% |
| 11,999      | 5.431525           | 1.768544           | 1   | 12000 | 11644  | 356   | 94.07% |
| 12,000      | 5.882928           | 1.915524           | 0   | 12500 | 12128  | 372   | 94.07% |

Jumlah simulasi (N) dan probabilitas sukses (Ps) kemudian diplotkan ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.18. Perbandingan Ps dengan N untuk Desain II Penulis

Dari grafik pada Gambar 4.18 dapat disimpulkan bahwa simulasi mengalami kestabilan pada pengulangan ke-12,000. Maka dapat dihitung probabilitas kegagalan ( $P_f$ ) dengan menggunakan Persamaan (2.32) di mana  $n = 356$ ; dan  $N = 12,000$ .

$$P_f = \frac{356}{12,000} = 0.029667$$

Keandalan struktur dapat dihitung dengan Persamaan (2.33) yaitu:

$$K = 1 - P_f = 1 - 0.029667 = 0.970333 = 97.03\%$$

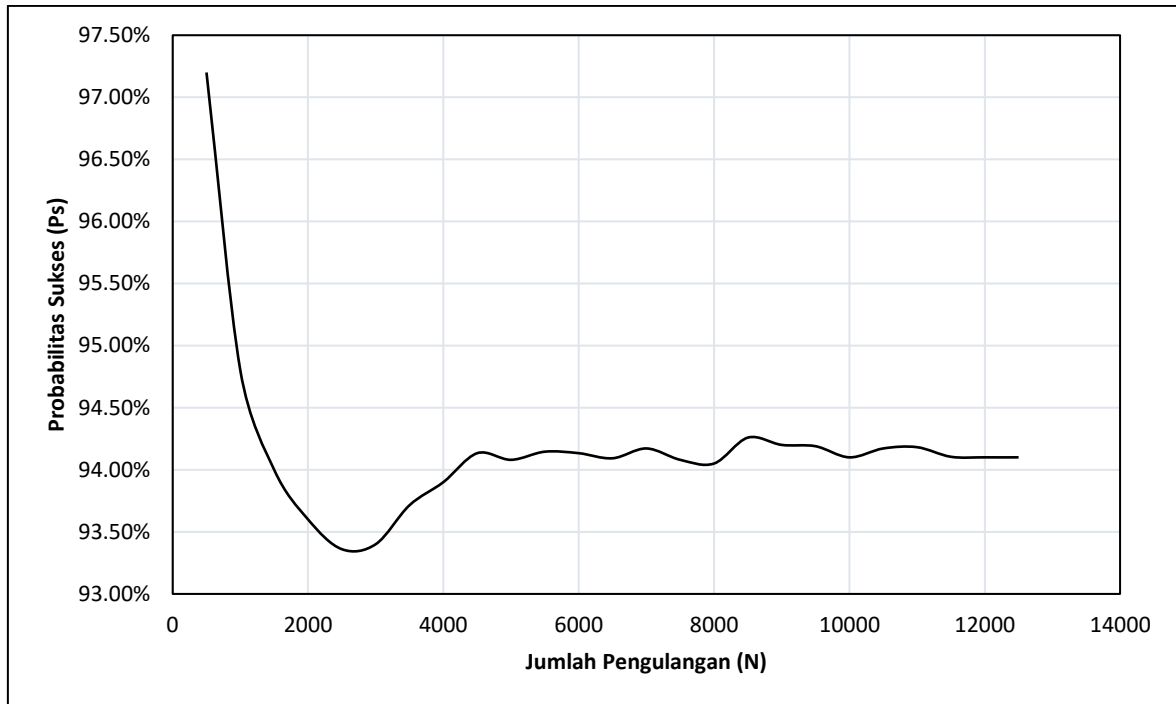
#### 4.4.4.4 Desain III Penulis (BPPT-Loc)

Pada sub-bab 4.4.1. telah dijelaskan bahwa desain II penulis (Tetrapod) akan mengalami kegagalan jika  $D_n < 1.484$ . Sama seperti sub-bab sebelumnya, hasil simulasi tinggi gelombang desain kemudian dimasukkan ke dalam fungsi kinerja pada Persamaan (4.5) untuk mendapatkan besar  $D_n$  -nya. Jika sistem gagal, maka akan ditandai dengan “0”, sebaliknya jika sistem sukses ditandai dengan “1”.

Tabel 4.35. Peluang Sukses Desain III Penulis

| Pengulangan | $H_d$ (m) | $D_n$ (m) | S/G | N     | Sukses | Gagal | $P_s$  |
|-------------|-----------|-----------|-----|-------|--------|-------|--------|
| 1           | 2.338469  | 0.592251  | 1   | 500   | 493    | 7     | 97.20% |
| 2           | 1.149258  | 0.291066  | 1   | 1000  | 974    | 26    | 94.80% |
| 3           | 0.868875  | 0.220055  | 1   | 1500  | 1455   | 45    | 94.00% |
| 4           | 1.010104  | 0.255823  | 1   | 2000  | 1936   | 64    | 93.60% |
| 5           | 2.502183  | 0.633714  | 1   | 2500  | 2417   | 83    | 93.36% |
| 6           | 3.614632  | 0.915458  | 1   | 3000  | 2901   | 99    | 93.40% |
| 7           | 1.156963  | 0.293018  | 1   | 3500  | 3390   | 110   | 93.71% |
| ...         | ...       | ...       | ... | ...   | ...    | ...   | ...    |
| 11,994      | 1.512755  | 0.383127  | 1   | 9500  | 9224   | 276   | 94.19% |
| 11,995      | 1.452895  | 0.367967  | 1   | 10000 | 9705   | 295   | 94.10% |
| 11,996      | 1.997161  | 0.50581   | 1   | 10500 | 10194  | 306   | 94.17% |
| 11,997      | 1.251776  | 0.31703   | 1   | 11000 | 10680  | 320   | 94.18% |
| 11,998      | 1.564623  | 0.396264  | 1   | 11500 | 11161  | 339   | 94.10% |
| 11,999      | 5.431525  | 1.375613  | 1   | 12000 | 11646  | 354   | 94.10% |
| 12,000      | 5.882928  | 1.489937  | 0   | 12500 | 12130  | 370   | 94.10% |

Jumlah simulasi (N) dan probabilitas sukses ( $P_s$ ) kemudian diplotkan ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19. Perbandingan  $P_s$  dengan  $N$  untuk Desain III Penulis

Dari grafik pada Gambar 4.19 dapat disimpulkan bahwa simulasi mengalami kestabilan pada pengulangan ke-12,000. Maka dapat dihitung probabilitas kegagalan ( $P_f$ ) dengan menggunakan Persamaan (2.32) di mana  $N = 12,000$ .

$$P_f = \frac{354}{12,000} = 0.0295$$

Keandalan struktur dapat dihitung dengan Persamaan (2.33) yaitu:

$$K = 1 - P_f = 1 - 0.0295 = 0.9705 = 97.05\%$$

Dari keempat desain tersebut, desain rencana oleh TIWTE memiliki nilai keandalan yang paling tinggi yaitu 98.14%. Hal ini dikarenakan desain rencana memiliki berat unit pelindung yang besarnya 169% kali dari desain minimal. Untuk ketiga desain penulis (desain minimal), nilai keandalannya hampir sama besar yaitu pada kisaran 97%. Nilai yang hampir sama tersebut karena meskipun ukuran desain berbeda-beda, akan tetapi hasil desain menyesuaikan dengan koefisien stabilitasnya dan kondisi lingkungannya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Dari hasil analisis yang telah dilakukan terhadap rumusan masalah yang telah disusun, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur pemecah gelombang desain rencana pada PLTU Sudimoro memiliki berat pelindung utama sebesar 15 ton. Sedangkan desain I penulis, yang merupakan desain minimal dari desain rencana dengan menggunakan jenis pelindung yang sama, memiliki berat pelindung utama sebesar 8.89 ton. Struktur desain rencana sudah memenuhi kriteria desain stabilitas hidrolis dengan perbandingan 169% kali lebih baik.
2. Desain rencana memiliki nilai keandalan yang sangat tinggi yaitu 98.14%. Desain I penulis (dolos) memiliki nilai keandalan 97.13%. Desain II penulis (tetrapod) memiliki nilai keandalan 97.03% dan desain III penulis (BPPT-Loc) memiliki nilai keandalan 97.05%.

#### **5.2 SARAN**

Saran yang bisa penulis berikan dari tugas akhir ini sebagai bahan pertimbangan dan studi lebih lanjut dimasa mendatang adalah:

1. Perhitungan keandalan stabilitas hidrolis lapisan pelindung utama gunakan teori kegagalan stabilitas lainnya seperti Van Der Meer.
2. Hitung keandalan untuk mode kegagalan struktur pemecah gelombang lainnya seperti *overtopping*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Armono, H.D., Sujantoko, Sholihin, Kusnadi. 2017. **Kajian Penguatan Breakwater Permanent Jetty dan Temporary Jetty**. Badan Pengembangan & Pengelola Usaha Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Burcharth, H. F. 1994. Reability Evaluation of A Structure At Sea. **Proceedings of Internasional Workshop on “Wave Barriers in Deep Waters”**. Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan. Januari 10 – 14.
- CERC. 1984. **Shore Protection Manual**. US Army Coastal Engineering Research Center: Mississippi.
- CERC. 2007. **The Coastal Engineering Manual**. US Army Coastal Engineering Research Center: Washington.
- Delta Marine Consultant. 2011. **XBlock Effective Wave Protection for Breakwaters and Shores**. Netherland
- Diposaptono. 2001. Erosi Pantai dan Klasifikasinya, Kasus di Indonesia. **Prosiding Konferensi Esdal 2001**. BPPT: Jakarta
- Djarmiko, E. B. 2003. **Seakeeping: Perilaku Bangunan Apung di atas Gelombang**. Jurusan Teknik Kelautan ITS: Surabaya.
- Harinaldi. 2005. **Prinsip-prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains**. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Kamphuis, J.W. 2000. **Introduction to Coastal Engineering and Management**. World Scientific: Singapore.
- Koc, M. L., C. E. Balas. 2012. Reability Analysis of a Rubble Mound Breakwater Using The Theory of Fuzzy Random Variables. **Journal of Applied Ocean Research**, 83-88.
- Kwarsa Hexagon. 2017. **Final Report of The Technical Evaluation and Analysis of West Breakwater and Temporary Jetty for Pacitan CFSP**. Kwarsa Hexagon: Bandung

- Naess, A, B. Leira. O. Batsevynch. 2009. System Reliability Analysis by Monte Carlo Simulations. **Structural Safety 31 (2009)**, 349-355.
- Rohani, I., M. A. Thaha, C. Paotonan. 2012. Stabilitas Armor Breakwater Menggunakan Kantong Batuan. **Jurnal Teknik Sipil**. Universitas Hasanuddin: Makassar.
- Rosyid, D. M. 2007. **Pengantar Rekayasa Keandalan**. Airlangga Press: Surabaya
- TIWTE. 2008. **Physical Model Study on Stability of Breakwater and Jetty Cross Sections in Pacitan 2 x 315 MW Coal-Fired Power Plant, Indonesia**. Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering: Tianjin, China.
- Torum, A., M. N. Moghim, K. Westeng, N. Hidayati, O. Arntsen. 2011. On Berm Breakwater: Recession Crown Wall Wave Forces, Reliability. **Journal of Coastal Engineering**, 299-318.
- Triadmojo, B. 1999. **Teknik Pantai**. Beta Offset: Yogyakarta.
- Wahyuningsih, I., D.N. Sugianto, M. Helmi. 2012. Analisa Perubahan Garis Pantai di Teluk Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. **Journal of Oceanography**, 49-57.
- Van Zwicht, B.N.M. 2009. **Effect of the Concrete Density on the Stability of Xbloc Armour Units**. TU Delft: Netherlands.
- Zuhdan, Jauzi M., A. Subarkah, S.S. Urip, H. Wahyu. Development of The BPPT-Lock Breakwater Armour Unit. **Proceeding of The Second Internasional Conference on Port , Coastal and Offshore Engineering (2nd ICPCO). Bandung 12 – 13 November 2012.**

## **LAMPIRAN**

**LAMPIRAN A   PENENTUAN DISTRIBUSI DATA TINGGI GELOMBANG  
SIGNIFIKAN**

**LAMPIRAN B   PERMODELAN PEMBUATAN FUNGSI TRANSFORMASI  
GELOMBANG**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LAMPIRAN A

## PENENTUAN DISTRIBUSI DATA TINGGI GELOMBANG

### SIGNIFIKAN

#### A.1 DISTRIBUSI GUMBEL

Tabel A.1 Analisis Gumbel dari data ekstrem

| <i>i</i> | <i>H</i> | <i>Q</i> | <i>P</i> | <i>G</i> | <i>i</i> | <i>H</i> | <i>Q</i> | <i>P</i> | <i>G</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1        | 4.67     | 0.005    | 0.995    | 5.366    | 38       | 2.32     | 0.313    | 0.687    | 0.981    |
| 2        | 4.58     | 0.013    | 0.987    | 4.337    | 39       | 2.31     | 0.321    | 0.679    | 0.949    |
| 3        | 4.21     | 0.021    | 0.979    | 3.838    | 40       | 2.3      | 0.329    | 0.671    | 0.918    |
| 4        | 3.76     | 0.030    | 0.970    | 3.504    | 41       | 2.3      | 0.338    | 0.662    | 0.887    |
| 5        | 3.72     | 0.038    | 0.962    | 3.252    | 42       | 2.27     | 0.346    | 0.654    | 0.857    |
| 6        | 3.6      | 0.046    | 0.954    | 3.049    | 43       | 2.26     | 0.354    | 0.646    | 0.827    |
| 7        | 3.39     | 0.055    | 0.945    | 2.880    | 44       | 2.25     | 0.363    | 0.637    | 0.798    |
| 8        | 3.11     | 0.063    | 0.937    | 2.733    | 45       | 2.24     | 0.371    | 0.629    | 0.769    |
| 9        | 3.05     | 0.071    | 0.929    | 2.605    | 46       | 2.23     | 0.379    | 0.621    | 0.740    |
| 10       | 3.04     | 0.080    | 0.920    | 2.490    | 47       | 2.23     | 0.388    | 0.612    | 0.713    |
| 11       | 3        | 0.088    | 0.912    | 2.386    | 48       | 2.19     | 0.396    | 0.604    | 0.685    |
| 12       | 2.99     | 0.096    | 0.904    | 2.291    | 49       | 2.17     | 0.404    | 0.596    | 0.658    |
| 13       | 2.87     | 0.105    | 0.895    | 2.203    | 50       | 2.16     | 0.413    | 0.587    | 0.631    |
| 14       | 2.86     | 0.113    | 0.887    | 2.122    | 51       | 2.15     | 0.421    | 0.579    | 0.605    |
| 15       | 2.77     | 0.121    | 0.879    | 2.046    | 52       | 2.15     | 0.429    | 0.571    | 0.578    |
| 16       | 2.77     | 0.130    | 0.870    | 1.975    | 53       | 2.13     | 0.438    | 0.562    | 0.553    |
| 17       | 2.75     | 0.138    | 0.862    | 1.908    | 54       | 2.09     | 0.446    | 0.554    | 0.527    |
| 18       | 2.66     | 0.146    | 0.854    | 1.845    | 55       | 2.08     | 0.454    | 0.546    | 0.502    |
| 19       | 2.61     | 0.155    | 0.845    | 1.785    | 56       | 2.08     | 0.463    | 0.537    | 0.477    |
| 20       | 2.59     | 0.163    | 0.837    | 1.727    | 57       | 2.06     | 0.471    | 0.529    | 0.452    |
| 21       | 2.56     | 0.171    | 0.829    | 1.673    | 58       | 2.03     | 0.479    | 0.521    | 0.427    |
| 22       | 2.55     | 0.179    | 0.821    | 1.620    | 59       | 2.03     | 0.488    | 0.512    | 0.403    |
| 23       | 2.54     | 0.188    | 0.812    | 1.570    | 60       | 2.03     | 0.496    | 0.504    | 0.379    |
| 24       | 2.48     | 0.196    | 0.804    | 1.522    | 61       | 2.03     | 0.504    | 0.496    | 0.355    |
| 25       | 2.44     | 0.204    | 0.796    | 1.475    | 62       | 2.02     | 0.512    | 0.488    | 0.331    |
| 26       | 2.44     | 0.213    | 0.787    | 1.430    | 63       | 2.01     | 0.521    | 0.479    | 0.307    |
| 27       | 2.43     | 0.221    | 0.779    | 1.387    | 64       | 1.99     | 0.529    | 0.471    | 0.283    |
| 28       | 2.43     | 0.229    | 0.771    | 1.345    | 65       | 1.99     | 0.537    | 0.463    | 0.260    |
| 29       | 2.43     | 0.238    | 0.762    | 1.304    | 66       | 1.99     | 0.546    | 0.454    | 0.237    |
| 30       | 2.42     | 0.246    | 0.754    | 1.264    | 67       | 1.98     | 0.554    | 0.446    | 0.214    |
| 31       | 2.41     | 0.254    | 0.746    | 1.226    | 68       | 1.98     | 0.562    | 0.438    | 0.191    |
| 32       | 2.39     | 0.263    | 0.737    | 1.188    | 69       | 1.97     | 0.571    | 0.429    | 0.168    |
| 33       | 2.37     | 0.271    | 0.729    | 1.151    | 70       | 1.97     | 0.579    | 0.421    | 0.145    |
| 34       | 2.37     | 0.279    | 0.721    | 1.116    | 71       | 1.97     | 0.587    | 0.413    | 0.122    |
| 35       | 2.37     | 0.288    | 0.712    | 1.081    | 72       | 1.97     | 0.596    | 0.404    | 0.099    |
| 36       | 2.35     | 0.296    | 0.704    | 1.047    | 73       | 1.96     | 0.604    | 0.396    | 0.076    |
| 37       | 2.32     | 0.304    | 0.696    | 1.014    | 74       | 1.95     | 0.612    | 0.388    | 0.054    |

| <i>i</i> | <i>H</i> | <i>Q</i> | <i>P</i> | <i>G</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 75       | 1.94     | 0.621    | 0.379    | 0.031    |
| 76       | 1.9      | 0.629    | 0.371    | 0.008    |
| 77       | 1.89     | 0.637    | 0.363    | -0.014   |
| 78       | 1.87     | 0.646    | 0.354    | -0.037   |
| 79       | 1.86     | 0.654    | 0.346    | -0.060   |
| 80       | 1.85     | 0.662    | 0.338    | -0.082   |
| 81       | 1.84     | 0.671    | 0.329    | -0.105   |
| 82       | 1.83     | 0.679    | 0.321    | -0.128   |
| 83       | 1.83     | 0.687    | 0.313    | -0.151   |
| 84       | 1.83     | 0.696    | 0.304    | -0.174   |
| 85       | 1.8      | 0.704    | 0.296    | -0.197   |
| 86       | 1.79     | 0.712    | 0.288    | -0.220   |
| 87       | 1.78     | 0.721    | 0.279    | -0.243   |
| 88       | 1.78     | 0.729    | 0.271    | -0.267   |
| 89       | 1.77     | 0.737    | 0.263    | -0.290   |
| 90       | 1.75     | 0.746    | 0.254    | -0.314   |
| 91       | 1.74     | 0.754    | 0.246    | -0.338   |
| 92       | 1.72     | 0.762    | 0.238    | -0.362   |
| 93       | 1.72     | 0.771    | 0.229    | -0.387   |
| 94       | 1.71     | 0.779    | 0.221    | -0.412   |
| 95       | 1.71     | 0.787    | 0.213    | -0.437   |
| 96       | 1.71     | 0.796    | 0.204    | -0.462   |
| 97       | 1.7      | 0.804    | 0.196    | -0.488   |

| <i>i</i> | <i>H</i> | <i>Q</i> | <i>P</i> | <i>G</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 98       | 1.7      | 0.812    | 0.188    | -0.514   |
| 99       | 1.69     | 0.821    | 0.179    | -0.541   |
| 100      | 1.69     | 0.829    | 0.171    | -0.568   |
| 101      | 1.69     | 0.837    | 0.163    | -0.596   |
| 102      | 1.67     | 0.845    | 0.155    | -0.625   |
| 103      | 1.67     | 0.854    | 0.146    | -0.654   |
| 104      | 1.66     | 0.862    | 0.138    | -0.684   |
| 105      | 1.66     | 0.870    | 0.130    | -0.715   |
| 106      | 1.65     | 0.879    | 0.121    | -0.747   |
| 107      | 1.65     | 0.887    | 0.113    | -0.780   |
| 108      | 1.61     | 0.895    | 0.105    | -0.814   |
| 109      | 1.6      | 0.904    | 0.096    | -0.851   |
| 110      | 1.6      | 0.912    | 0.088    | -0.888   |
| 111      | 1.6      | 0.920    | 0.080    | -0.929   |
| 112      | 1.6      | 0.929    | 0.071    | -0.971   |
| 113      | 1.56     | 0.937    | 0.063    | -1.017   |
| 114      | 1.52     | 0.945    | 0.055    | -1.067   |
| 115      | 1.52     | 0.954    | 0.046    | -1.123   |
| 116      | 1.49     | 0.962    | 0.038    | -1.185   |
| 117      | 1.46     | 0.970    | 0.030    | -1.258   |
| 118      | 1.44     | 0.979    | 0.021    | -1.348   |
| 119      | 1.25     | 0.987    | 0.013    | -1.469   |
| 120      | 1.25     | 0.995    | 0.005    | -1.681   |

## A.2 DISTRIBUSI WEIBULL

Tabel A.2 Analisis Weibull dari data ekstrem ( $\alpha = 1$ )

| <i>i</i> | <b>H</b> | <b>Q</b> | <b>W</b> |
|----------|----------|----------|----------|
| 1        | 4.67     | 0.004    | 5.426    |
| 2        | 4.58     | 0.013    | 4.366    |
| 3        | 4.21     | 0.021    | 3.863    |
| 4        | 3.76     | 0.029    | 3.530    |
| 5        | 3.72     | 0.038    | 3.280    |
| 6        | 3.6      | 0.046    | 3.081    |
| 7        | 3.39     | 0.054    | 2.915    |
| 8        | 3.11     | 0.063    | 2.772    |
| 9        | 3.05     | 0.071    | 2.647    |
| 10       | 3.04     | 0.079    | 2.537    |
| 11       | 3        | 0.087    | 2.437    |
| 12       | 2.99     | 0.096    | 2.346    |
| 13       | 2.87     | 0.104    | 2.263    |
| 14       | 2.86     | 0.112    | 2.186    |
| 15       | 2.77     | 0.121    | 2.115    |
| 16       | 2.77     | 0.129    | 2.048    |
| 33       | 2.37     | 0.270    | 1.309    |

| <i>i</i> | <b>H</b> | <b>Q</b> | <b>W</b> |
|----------|----------|----------|----------|
| 17       | 2.75     | 0.137    | 1.986    |
| 18       | 2.66     | 0.146    | 1.927    |
| 19       | 2.61     | 0.154    | 1.872    |
| 20       | 2.59     | 0.162    | 1.819    |
| 21       | 2.56     | 0.170    | 1.769    |
| 22       | 2.55     | 0.179    | 1.722    |
| 23       | 2.54     | 0.187    | 1.676    |
| 24       | 2.48     | 0.195    | 1.633    |
| 25       | 2.44     | 0.204    | 1.591    |
| 26       | 2.44     | 0.212    | 1.551    |
| 27       | 2.43     | 0.220    | 1.513    |
| 28       | 2.43     | 0.229    | 1.476    |
| 29       | 2.43     | 0.237    | 1.440    |
| 30       | 2.42     | 0.245    | 1.406    |
| 31       | 2.41     | 0.254    | 1.372    |
| 32       | 2.39     | 0.262    | 1.340    |
| 77       | 1.89     | 0.635    | 0.453    |



| <i>i</i> | <b>H</b> | <b>Q</b> | <b>W</b> |
|----------|----------|----------|----------|
| 34       | 2.37     | 0.278    | 1.279    |
| 35       | 2.37     | 0.287    | 1.249    |
| 36       | 2.35     | 0.295    | 1.221    |
| 37       | 2.32     | 0.303    | 1.193    |
| 38       | 2.32     | 0.312    | 1.166    |
| 39       | 2.31     | 0.320    | 1.140    |
| 40       | 2.3      | 0.328    | 1.114    |
| 41       | 2.3      | 0.337    | 1.089    |
| 42       | 2.27     | 0.345    | 1.065    |
| 43       | 2.26     | 0.353    | 1.041    |
| 44       | 2.25     | 0.361    | 1.018    |
| 45       | 2.24     | 0.370    | 0.995    |
| 46       | 2.23     | 0.378    | 0.973    |
| 47       | 2.23     | 0.386    | 0.951    |
| 48       | 2.19     | 0.395    | 0.930    |
| 49       | 2.17     | 0.403    | 0.909    |
| 50       | 2.16     | 0.411    | 0.888    |
| 51       | 2.15     | 0.420    | 0.869    |
| 52       | 2.15     | 0.428    | 0.849    |
| 53       | 2.13     | 0.436    | 0.830    |
| 54       | 2.09     | 0.444    | 0.811    |
| 55       | 2.08     | 0.453    | 0.792    |
| 56       | 2.08     | 0.461    | 0.774    |
| 57       | 2.06     | 0.469    | 0.756    |
| 58       | 2.03     | 0.478    | 0.739    |
| 59       | 2.03     | 0.486    | 0.722    |
| 60       | 2.03     | 0.494    | 0.705    |
| 61       | 2.03     | 0.503    | 0.688    |
| 62       | 2.02     | 0.511    | 0.672    |
| 63       | 2.01     | 0.519    | 0.655    |
| 64       | 1.99     | 0.528    | 0.640    |
| 65       | 1.99     | 0.536    | 0.624    |
| 66       | 1.99     | 0.544    | 0.609    |
| 67       | 1.98     | 0.552    | 0.593    |
| 68       | 1.98     | 0.561    | 0.578    |
| 69       | 1.97     | 0.569    | 0.564    |
| 70       | 1.97     | 0.577    | 0.549    |
| 71       | 1.97     | 0.586    | 0.535    |
| 72       | 1.97     | 0.594    | 0.521    |
| 73       | 1.96     | 0.602    | 0.507    |
| 74       | 1.95     | 0.611    | 0.493    |
| 75       | 1.94     | 0.619    | 0.480    |
| 76       | 1.9      | 0.627    | 0.467    |

| <i>i</i> | <b>H</b> | <b>Q</b> | <b>W</b> |
|----------|----------|----------|----------|
| 78       | 1.87     | 0.644    | 0.440    |
| 79       | 1.86     | 0.652    | 0.428    |
| 80       | 1.85     | 0.660    | 0.415    |
| 81       | 1.84     | 0.669    | 0.402    |
| 82       | 1.83     | 0.677    | 0.390    |
| 83       | 1.83     | 0.685    | 0.378    |
| 84       | 1.83     | 0.694    | 0.366    |
| 85       | 1.8      | 0.702    | 0.354    |
| 86       | 1.79     | 0.710    | 0.342    |
| 87       | 1.78     | 0.719    | 0.331    |
| 88       | 1.78     | 0.727    | 0.319    |
| 89       | 1.77     | 0.735    | 0.308    |
| 90       | 1.75     | 0.743    | 0.296    |
| 91       | 1.74     | 0.752    | 0.285    |
| 92       | 1.72     | 0.760    | 0.274    |
| 93       | 1.72     | 0.768    | 0.264    |
| 94       | 1.71     | 0.777    | 0.253    |
| 95       | 1.71     | 0.785    | 0.242    |
| 96       | 1.71     | 0.793    | 0.232    |
| 97       | 1.7      | 0.802    | 0.221    |
| 98       | 1.7      | 0.810    | 0.211    |
| 99       | 1.69     | 0.818    | 0.201    |
| 100      | 1.69     | 0.826    | 0.191    |
| 101      | 1.69     | 0.835    | 0.181    |
| 102      | 1.67     | 0.843    | 0.171    |
| 103      | 1.67     | 0.851    | 0.161    |
| 104      | 1.66     | 0.860    | 0.151    |
| 105      | 1.66     | 0.868    | 0.142    |
| 106      | 1.65     | 0.876    | 0.132    |
| 107      | 1.65     | 0.885    | 0.123    |
| 108      | 1.61     | 0.893    | 0.113    |
| 109      | 1.6      | 0.901    | 0.104    |
| 110      | 1.6      | 0.909    | 0.095    |
| 111      | 1.6      | 0.918    | 0.086    |
| 112      | 1.6      | 0.926    | 0.077    |
| 113      | 1.56     | 0.934    | 0.068    |
| 114      | 1.52     | 0.943    | 0.059    |
| 115      | 1.52     | 0.951    | 0.050    |
| 116      | 1.49     | 0.959    | 0.042    |
| 117      | 1.46     | 0.968    | 0.033    |
| 118      | 1.44     | 0.976    | 0.024    |
| 119      | 1.25     | 0.984    | 0.016    |
| 120      | 1.25     | 0.993    | 0.008    |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN B

### PERMODELAN PEMBUATAN FUNGSI TRANSFORMASI TRANSFORMASI GELOMBANG

Pembuatan fungsi transformasi gelombang dilakukan dengan menggunakan teori *design of experiment – response of surface*. Permodelan dilakukan dengan beberapa variasi variabel. Variasi tersebut dapat dilihat pada Tabel B.1. berikut.

Tabel B.1 Variasi variabel *run* model eksperimen

| Run | Coded Variables |                | Real Variables |                | Response       |                |                |
|-----|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|     | X <sub>1</sub>  | X <sub>2</sub> | H <sub>s</sub> | T <sub>s</sub> | H <sub>A</sub> | H <sub>B</sub> | H <sub>C</sub> |
| 1   | -1              | -1             | 1.25           | 6.02           |                |                |                |
| 2   | 1               | -1             | 4.67           | 6.02           |                |                |                |
| 3   | -1              | 1              | 1.25           | 8.74           |                |                |                |
| 4   | 1               | 1              | 4.67           | 8.74           |                |                |                |
| 5   | 0               | 0              | 2.96           | 7.38           |                |                |                |
| 6   | 0               | 0              | 2.96           | 7.38           |                |                |                |
| 7   | 0               | 0              | 2.96           | 7.38           |                |                |                |
| 8   | 0               | 0              | 2.96           | 7.38           |                |                |                |
| 9   | 0               | 0              | 2.96           | 7.38           |                |                |                |

Setiap variasi variabel tersebut dilakukan *run* untuk tiap-tiap sudut datang gelombang yaitu Barat Daya (45°), Selatan (90°) dan Tenggara (135°)

#### B.1 SUDUT DATANG GELOMBANG BARAT DAYA (45°)

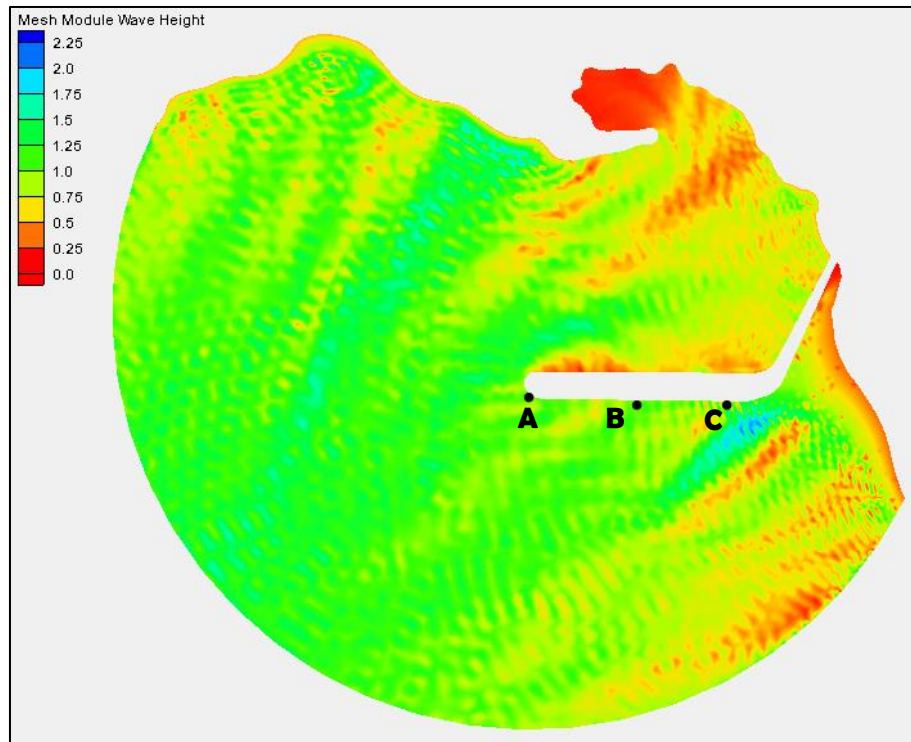
##### B.1.1. Eksperimen 1

Eksperimen 1 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 2 Parameter *input* eksperimen 1 (45°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 1.25 m       |
| Amplitudo Gelombang | 0.625 m      |
| Periode Gelombang   | 6.02 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.1. Hasil *running* CGWave eksperimen 1 ( $45^\circ$ )

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 3 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 1 ( $45^\circ$ )

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 0.92  |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 0.925 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.036 |

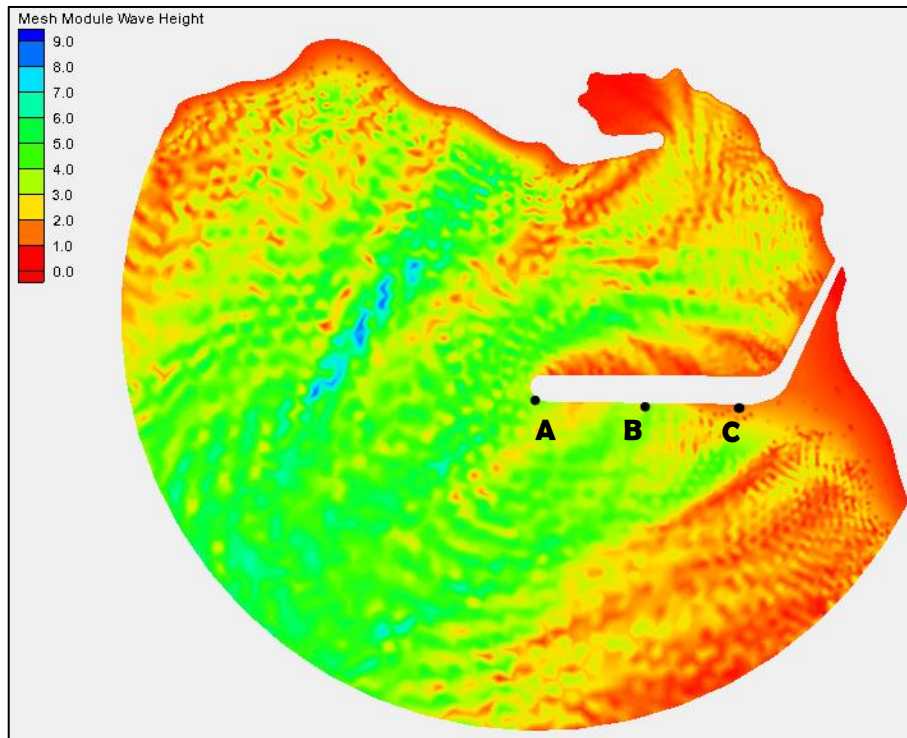
### B.1.2. Eksperimen 2

Eksperimen 2 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 4 Parameter *input* eksperimen 2 ( $45^\circ$ )

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 4.67 m       |
| Amplitudo Gelombang | 2.335 m      |
| Periode Gelombang   | 6.02 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.2. Hasil *running* CGWave eksperimen 2 ( $45^\circ$ )

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 5 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 2 ( $45^\circ$ )

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 3.469 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 3.306 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.053 |

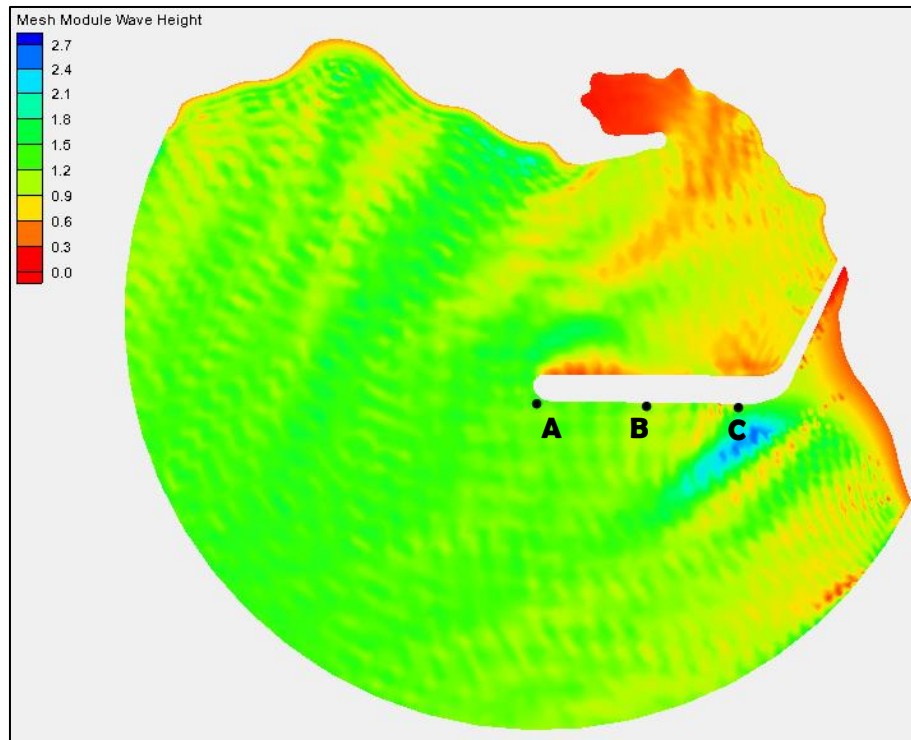
### B.1.3. Eksperimen 3

Eksperimen 3 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 6 Parameter *input* eksperimen 3 ( $45^\circ$ )

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 1.25 m       |
| Amplitudo Gelombang | 0.625 m      |
| Periode Gelombang   | 8.74 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.3. Hasil *running* CGWave eksperimen 3 ( $45^\circ$ )

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 7 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 3 ( $45^\circ$ )

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 1.245 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 0.864 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.025 |

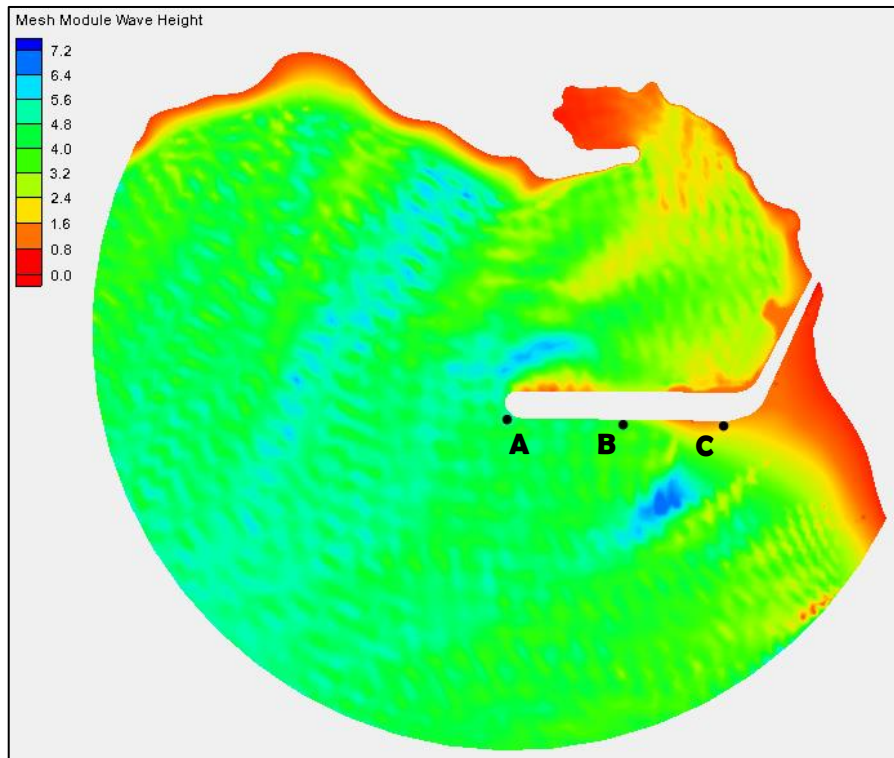
#### B.1.4. Eksperimen 4

Eksperimen 4 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 8 Parameter *input* eksperimen 4 ( $45^\circ$ )

| PARAMETER           | <i>INPUT</i> |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 4.67 m       |
| Amplitudo Gelombang | 2.335 m      |
| Periode Gelombang   | 8.74 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.3. Hasil *running* CGWave eksperimen 4 ( $45^\circ$ )

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 9 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 4 ( $45^\circ$ )

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 4.54  |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 3.226 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.098 |

### B.1.5. Eksperimen 5

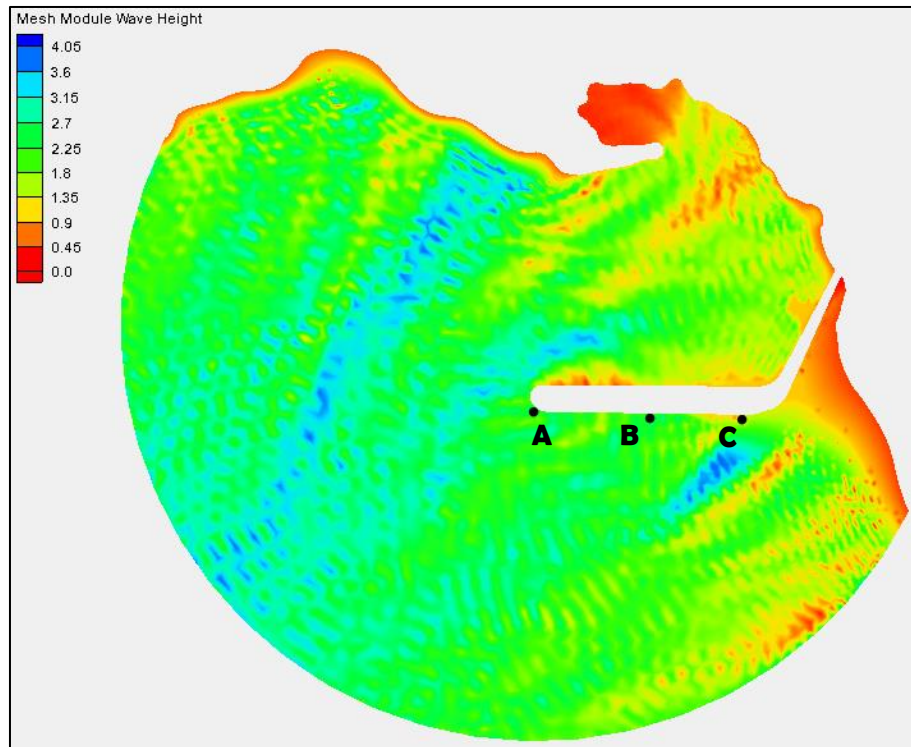
Eksperimen 5 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 10 Parameter *input* eksperimen 5 ( $45^\circ$ )

| PARAMETER           | <i>INPUT</i> |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 2.96 m       |
| Amplitudo Gelombang | 1.48 m       |
| Periode Gelombang   | 7.38 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |



Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.4. Hasil *running* CGWave eksperimen 5 ( $45^\circ$ )

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 11 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 5 ( $45^\circ$ )

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 2.179 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 2.191 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.061 |

Untuk eksperimen 6 – 9 mengacu kepada eksperimen ke – 5 karena input-an serta output yang sama.



**B.2 SUDUT DATANG GELOMBANG SELATAN (90°)**

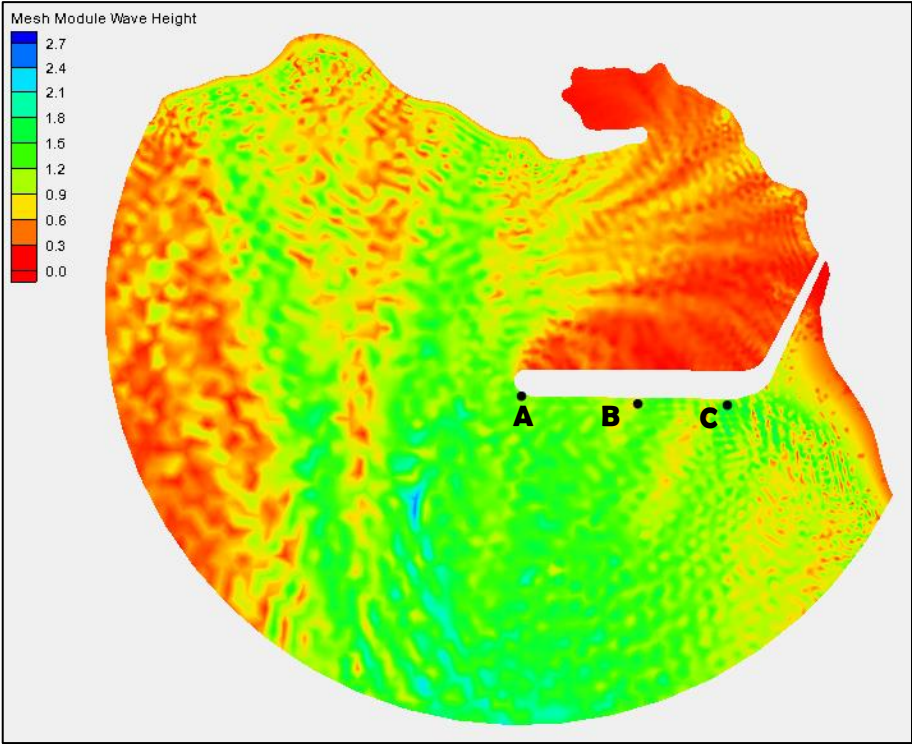
**B.2.1. Eksperimen 1**

Eksperimen 1 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 12 Parameter *input* eksperimen 1 (90°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 1.25 m       |
| Amplitudo Gelombang | 0.625 m      |
| Periode Gelombang   | 6.02 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.5. Hasil *running* CGWave eksperimen 1 (90°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 13 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 1 (90°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 1.184 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 0.672 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.061 |

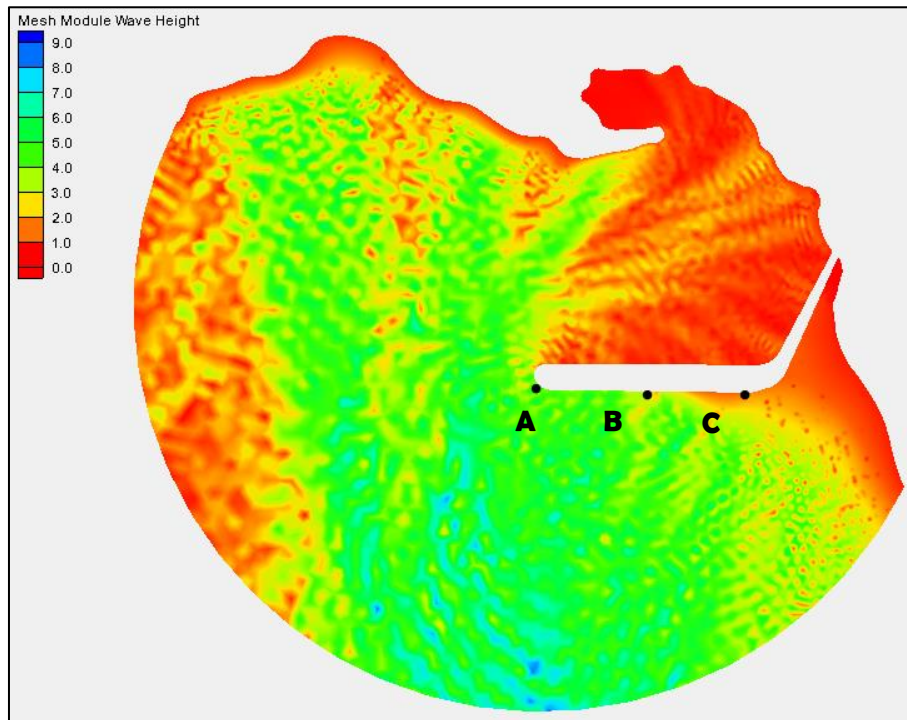
### B.2.2. Eksperimen 2

Eksperimen 2 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 14 Parameter *input* eksperimen 2 (90°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 4.67 m       |
| Amplitudo Gelombang | 2.335 m      |
| Periode Gelombang   | 6.02 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.6. Hasil *running* CGWave eksperimen 2 (90°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 15 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 2 (90°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 4.466 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 2.402 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 0.931 |

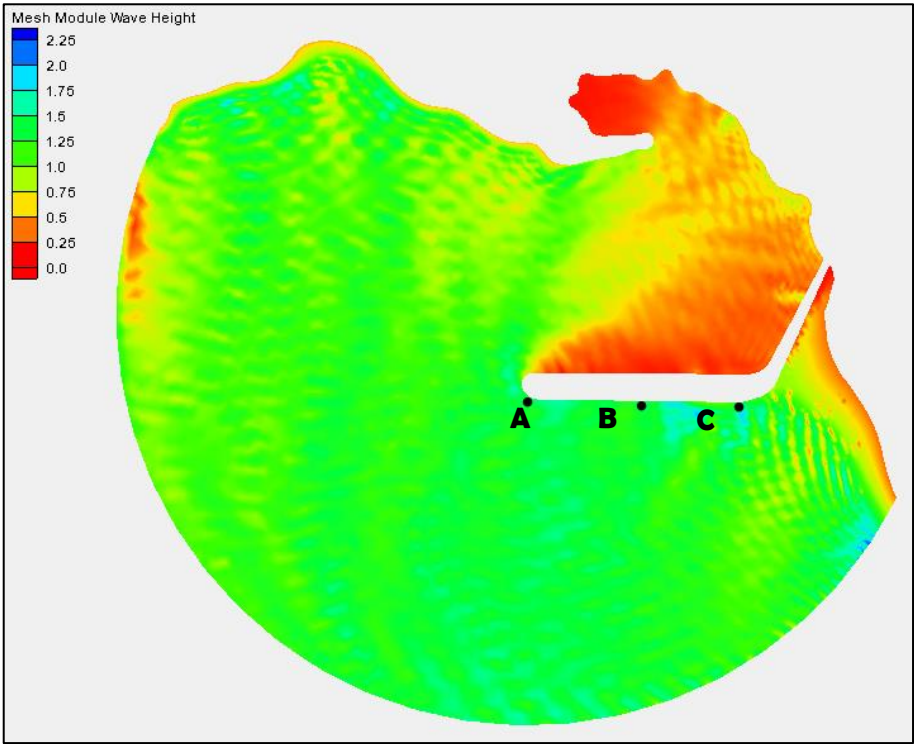
**B.2.3. Eksperimen 3**

Eksperimen 3 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 16 Parameter *input* eksperimen 3 (90°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 1.25 m       |
| Amplitudo Gelombang | 0.625 m      |
| Periode Gelombang   | 8.74 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.7. Hasil *running* CGWave eksperimen 3 (90°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 17 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 3 (90°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 1.236 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 1.223 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 0.765 |

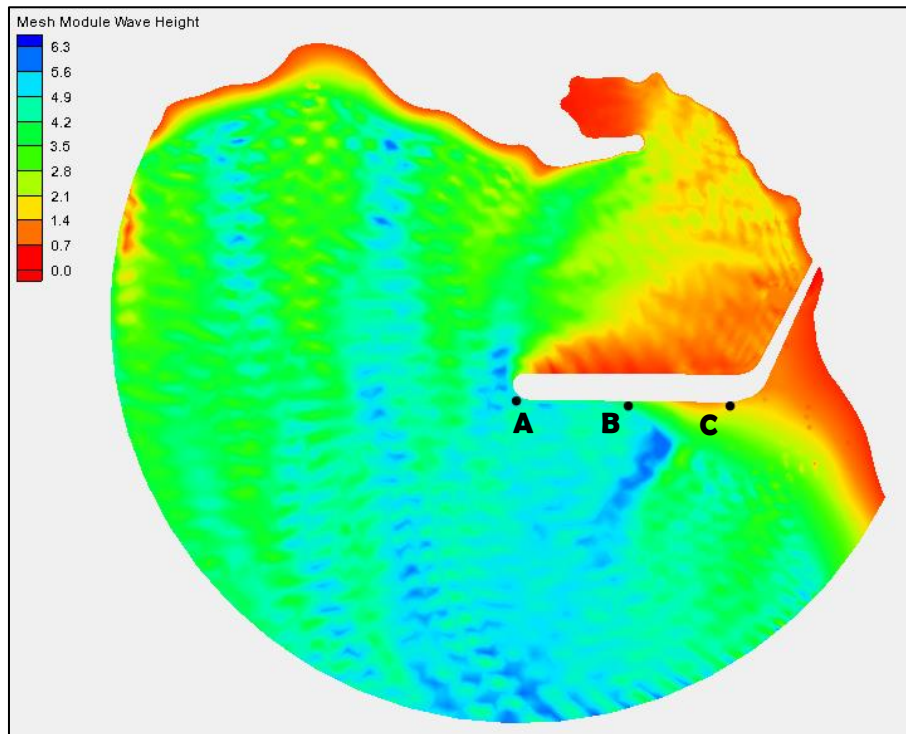
#### B.2.4. Eksperimen 4

Eksperimen 4 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 18 Parameter *input* eksperimen 4 (90°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 4.67 m       |
| Amplitudo Gelombang | 2.335 m      |
| Periode Gelombang   | 8.74 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.8. Hasil *running* CGWave eksperimen 4 (90°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 19 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 4 (90°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 4.492 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 3.526 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.096 |

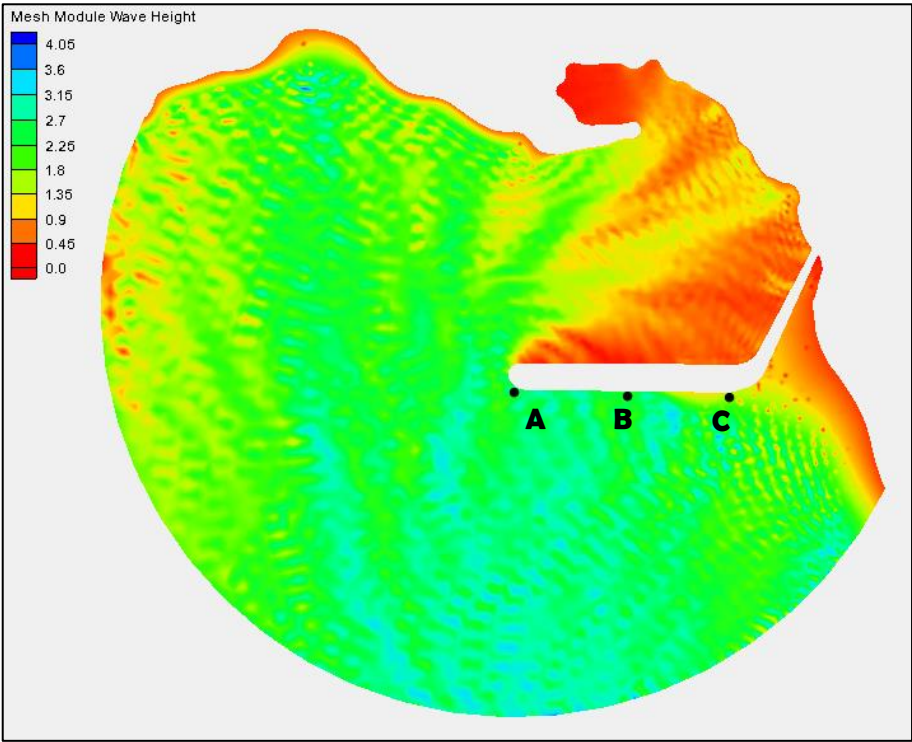
B.2.5. Eksperimen 5

Eksperimen 5 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 20 Parameter *input* eksperimen 5 (90°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 2.96 m       |
| Amplitudo Gelombang | 1.48 m       |
| Periode Gelombang   | 7.38 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.9. Hasil *running* CGWave eksperimen 5 (90°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 21 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 5 (90°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 2.485 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 2.402 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 0.834 |



Untuk eksperimen 6 – 9 mengacu kepada eksperimen ke – 5 karena input-an serta output yang sama.

### B.3 SUDUT DATANG GELOMBANG TENGGARA (135°)

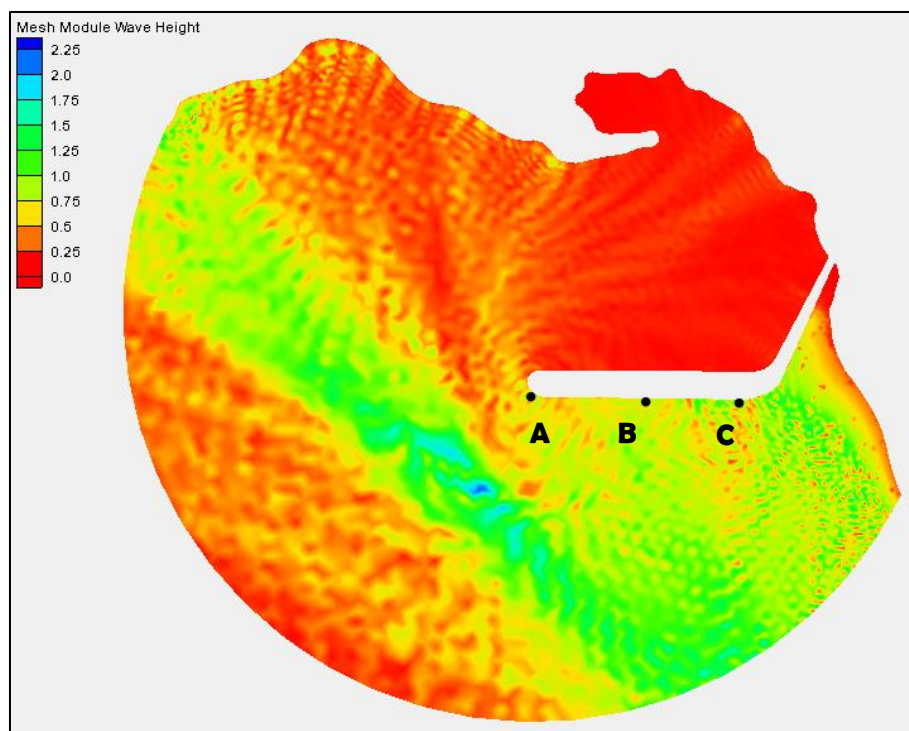
#### B.3.1. Eksperimen 1

Eksperimen 1 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 22 Parameter *input* eksperimen 1 (135°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 1.25 m       |
| Amplitudo Gelombang | 0.625 m      |
| Periode Gelombang   | 6.02 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.10. Hasil *running* CGWave eksperimen 1 (135°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 23 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 1 (135°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 1.184 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 0.672 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.061 |

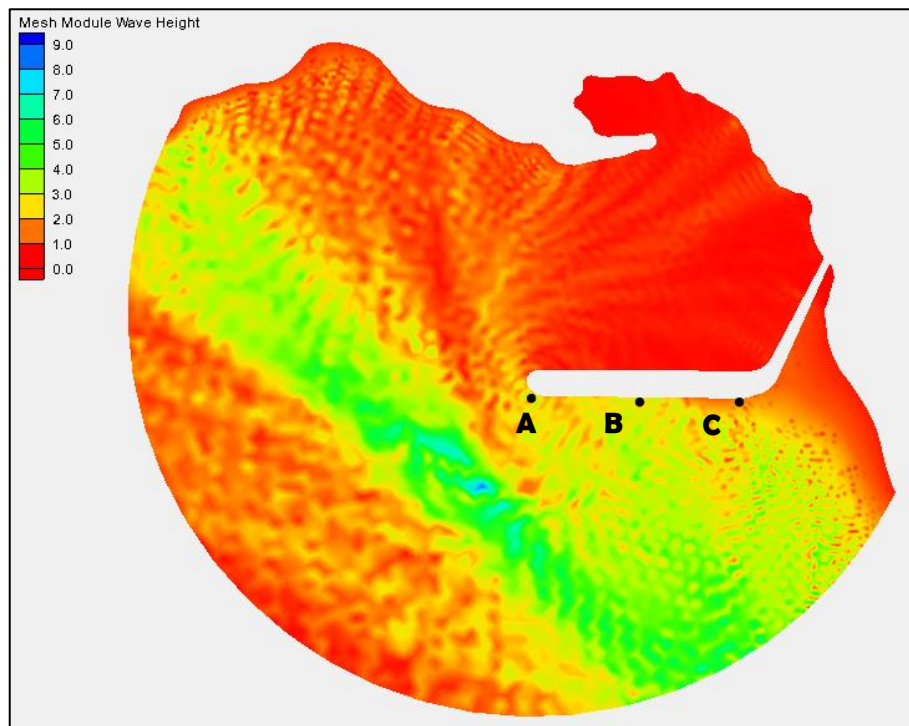
### B.3.2. Eksperimen 2

Eksperimen 2 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 24 Parameter *input* eksperimen 2 (135°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 4.67 m       |
| Amplitudo Gelombang | 2.335 m      |
| Periode Gelombang   | 6.02 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.11. Hasil *running* CGWave eksperimen 2 (135°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 25 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 2 (135°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 4.466 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 2.402 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 0.931 |

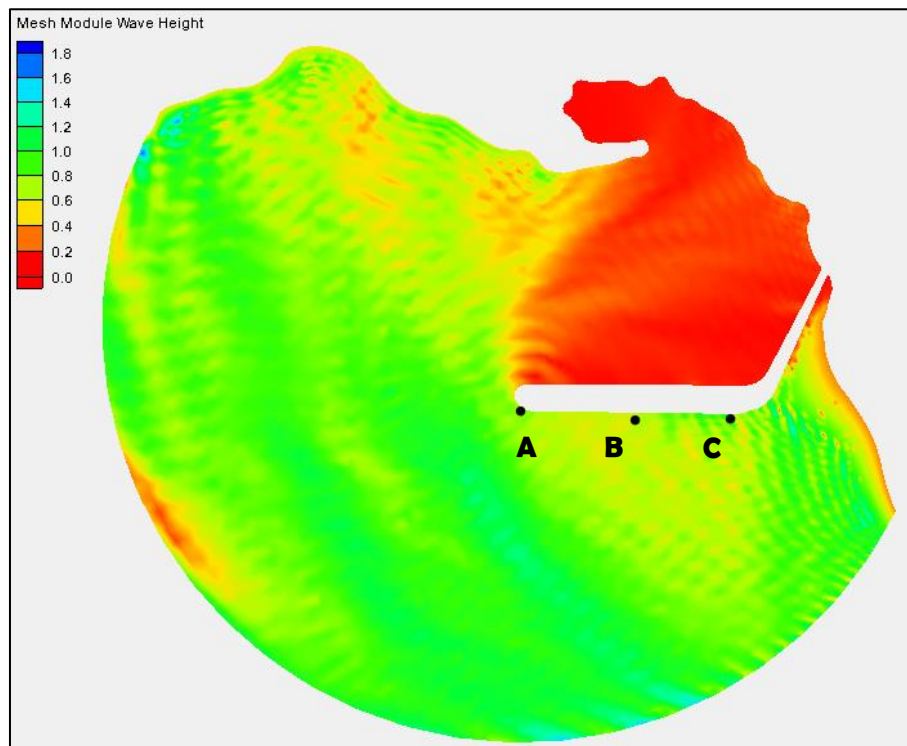
### B.3.3. Eksperimen 3

Eksperimen 3 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 26 Parameter *input* eksperimen 3 (135°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 1.25 m       |
| Amplitudo Gelombang | 0.625 m      |
| Periode Gelombang   | 8.74 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.12. Hasil *running* CGWave eksperimen 3 (135°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.



Tabel B. 27 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 3 (135°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 1.236 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 1.223 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 0.765 |

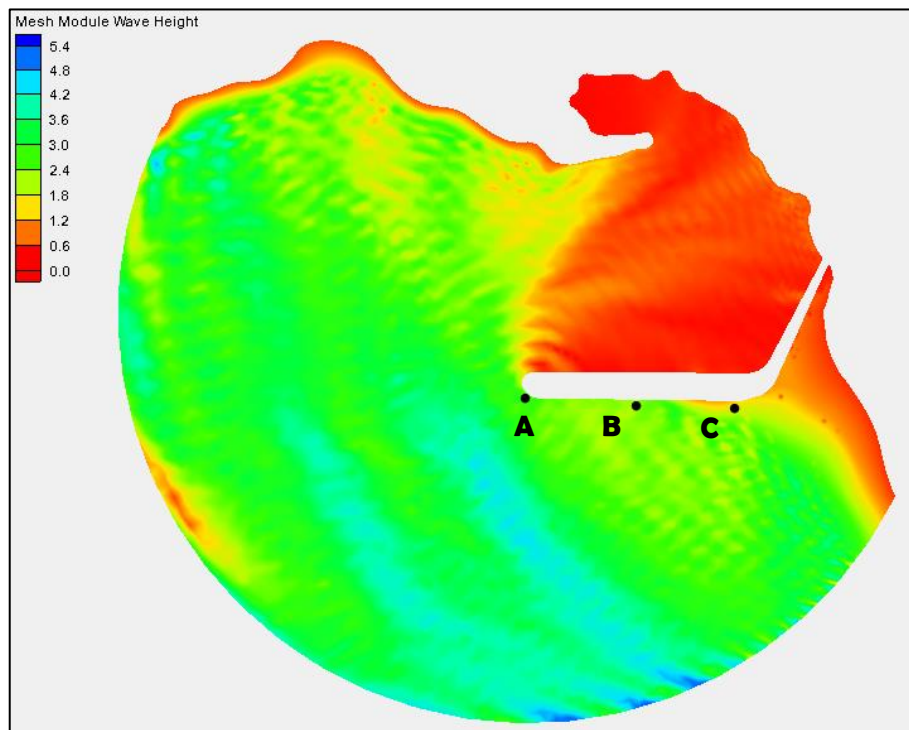
#### B.3.4. Eksperimen 4

Eksperimen 4 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 28 Parameter *input* eksperimen 4 (135°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 4.67 m       |
| Amplitudo Gelombang | 2.335 m      |
| Periode Gelombang   | 8.74 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.13. Hasil *running* CGWave eksperimen 4 (135°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 29 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 4 (135°)

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 4.492 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 3.526 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 1.096 |

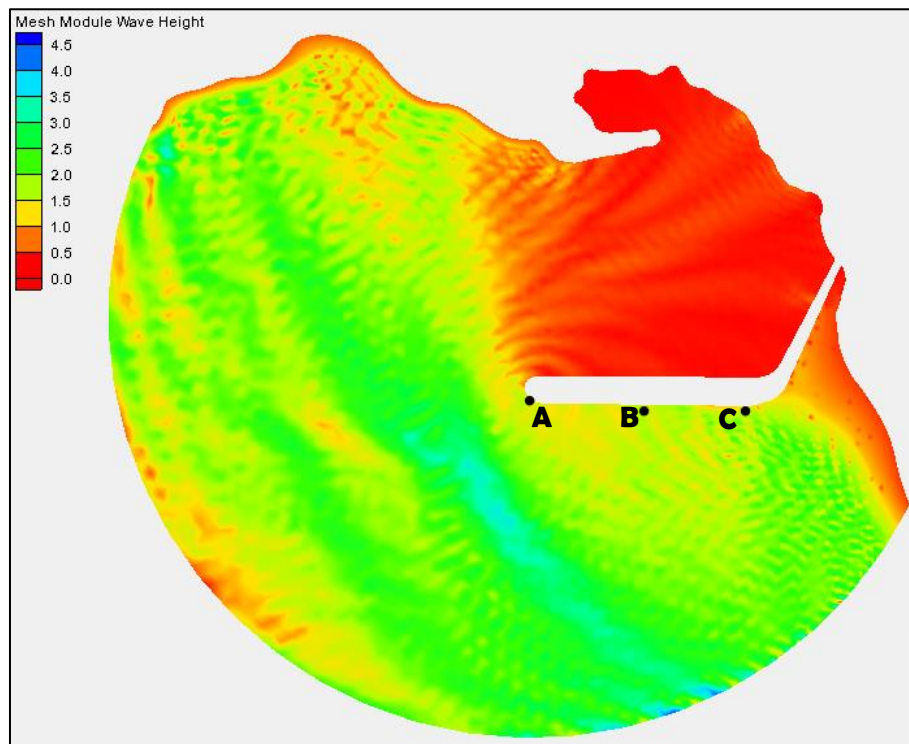
### B.3.5. Eksperimen 5

Eksperimen 5 dilakukan pada CGWave dengan variabel input:

Tabel B. 30 Parameter *input* eksperimen 4 (135°)

| PARAMETER           | INPUT        |
|---------------------|--------------|
| Tinggi Gelombang    | 2.96 m       |
| Amplitudo Gelombang | 1.48 m       |
| Periode Gelombang   | 7.38 s       |
| Iterasi Maksimal    | 5000 iterasi |

Hasil *running* model dengan *software* CGWave yaitu:



Gambar B.13. Hasil *running* CGWave eksperimen 5 (135°)

Kemudian dipilih tiga titik untuk diamati tinggi gelombang sesudah transformasi. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel B. 31 Tinggi gelombang akibat transformasi eksperimen 5 ( $135^\circ$ )

| TITIK | KOORDINAT            | H (m) |
|-------|----------------------|-------|
| A     | (-1692.85, -1080.85) | 2.485 |
| B     | (-1441.08, -1082.88) | 2.402 |
| C     | (-1128.24, -1091.23) | 0.834 |

Untuk eksperimen 6 – 9 mengacu kepada eksperimen ke – 5 karena input-an serta output yang sama.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh pada tanggal 6 Agustus 1997. Penulis merupakan anak keenam dari tujuh bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 57 Banda Aceh, SMP Negeri 8 Banda Aceh dan SMA Negeri 10 Fajar Harapan Banda Aceh. Ayah penulis, Ir. Zaidan M., Dipl., HE. merupakan seorang pensiunan PNS. Beliau adalah ayah yang sangat mengutamakan pendidikan anak-anaknya. Sedangkan ibu penulis bernama Dra. Rahmah. Beliau adalah seorang guru Sekolah Dasar yang mengampu pelajaran Bahasa Indonesia sebagai pelajaran utamanya.

Selama menjalani perkuliahan, penulis tidak hanya aktif secara akademik, tetapi penulis juga aktif berorganisasi menjadi Ketua Divisi Pengembangan Karya Kelautan di Departemen Inovasi Karya Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) 2016/2017, Ketua Divisi Jaringan Komunikasi di Departemen Media Informasi dan Komunikasi Pelajar Mahasiswa Kekeluargaan Tanah Rencong (PMKTR) Surabaya 2016/2017. Selain berorganisasi, penulis juga pernah mengikuti kegiatan sosial sebagai *volunteer* pengajar pada Rumah Perjuangan ITS Mengajar di tahun 2016. Pada tahun 2016, penulis mendapatkan Beasiswa Pertamina Sobot Bumi serta mulai terlibat dengan organisasi Sobot Bumi Surabaya.

Penulis dalam menyelesaikan gelar sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan mengambil bidang keahlian Teknik dan Rekayasa Pantai. Penulis melakukan kerja praktik di PT. Pengembang Pelabuhan Indonesia dengan bidang yang sama dan diikuti sertakan dalam proyek pembuatan *breakwater* pengembangan Pelabuhan Tanjung Priok. Penulis menyelesaikan tugas akhir dengan bahasan topik di bidang yang juga sama.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*